ARCHIVES DE PHILOSOPHIE

VOLUME XV

ARCHIVES DE PHILOSOPHIE

VOLUME XV



BEAUCHESNE ET SES FILS
PARIS, RUE DE RENNES, 117

ARCHIVES DE PHILOSOPHIE

VOLUME XV

CAHIER I

DU MÊME AUTEUR

L'Imprégnation des Éléments nerveux du Lombric par le nitrate d'argent. Le Névraxe, vol. IX, 1907.

Recherches sur le Système nerveux central normal du Lombric. Le Névraxe, vol. X, 1908. — *Nouvelles recherches.* Ibid., vol. XI, 1908.

Le rôle de l'Encéphale dans la fonction sensorielle. Revue des Questions scientifiques, 1914.

L'Élément nerveux. Revue des Questions scientifiques, 1914.

Les localisations cérébrales et la Philosophie spiritualiste. Revue des Questions scientifiques, 1913.

Le Langage; ses anomalies anatomo-physiologiques d'origine encéphalique. Revue des Questions scientifiques, 1911.

Les Glandes et la psychopathologie glandulaire. Revue des Questions scientifiques, 1909.

La Philosophie dans ses rapports avec les Sciences biologique et médicale. Annales de la Société scientifique de Bruxelles, avril 1910.

Le concept actuel d'Hystérie. Revue des Questions scientifiques, 1911.

Responsabilité normale et pathologique. Revue des Questions scientifiques : avril, juillet, octobre 1908.

Observación de convulsiones epileptiformes en los animales. Ibérica, septembre 1914.

En collaboration :

A. VAN GEHUCHTEN et L. BOULE. — Les noyaux extra- et périmédullaires des Oiseaux (Lobes accessoires de Lachi ou Noyaux de Hofmann de Kölliker). Le Névraxe, vol. IX, 1907.

J. GRANIER et L. BOULE. — 1° *Cinèses somatiques chez Endymion nutans.* Comptes rendus de l'Académie des sciences, 16 janvier 1911.

2° *Phénomène de conjugaison des chromosomes à la prophase de la première cinèse réductrice chez Endymion nutans.* Ibid., 13 février 1911.

3° *Le caractère hétérogamique des gemini chez Impatiens glanduligera.* Ibid., 10 avril 1911.

L. BOULE
Professeur de Biologie générale à l'Institut Catholique de Toulouse.

Étude des Fondements cytologiques du vitalisme



BEAUCHESNE ET SES FILS
PARIS, RUE DE RENNES, 117
MCMXXXIX

ÉTUDE DES FONDEMENTS CYTOLOGIQUES DU VITALISME

I. — QUELQUES PRÉCISIONS PRÉLIMINAIRES

Les phénomènes dont certains êtres, appelés êtres *vivants*, sont le siège, présentent une allure qui leur est — ou paraît leur être — propre. On les distingue communément d'autres êtres regardés comme *non vivants*, chez lesquels ces mêmes phénomènes ou font complètement défaut, ou ne revêtent pas les mêmes caractères essentiels.

Cette distinction entre *vivants et non vivants* est-elle fondée en fait? Existe-t-il entre ces deux groupes d'êtres une différence, non pas seulement de degré, mais d'essence?...

De par ailleurs, les êtres tenus pour non vivants appartiennent au règne dit minéral, au monde de la matière brute, inorganisée. Leurs diverses réactions sont commandées par des forces, ou principes d'activité, désignées sous le nom de forces physiques, chimiques, mécaniques. Si ceux que l'on tient pour vivants sont d'une autre essence, les forces qui règlent leur activité propre doivent être essentiellement différentes elles aussi : on parlera alors de forces vitales, de principe vital, et si on admet leur existence on sera *vitaliste*.

A s'en tenir à ces données sommaires, la question serait simple, mais d'une simplicité qui ne satisfait pas complètement l'esprit; les diverses opinions émises à son sujet en sont la preuve.

Certains prétendent qu'il est parfaitement inutile de faire appel, pour expliquer les phénomènes dits vitaux, à des forces autres que celles qui suffisent à rendre compte de l'activité physique, chimique ou mécanique, des substances brutes. C'est l'explication *mécaniste* de la vie. Descartes (pour ne pas remonter plus haut dans l'histoire de la biologie) avait, dans la V[e] partie de son *Discours de la méthode*, posé tout au moins le principe de cette explication, en réduisant à deux toutes les substances existant dans le monde : la *pensée*

et l'*étendue* ou matière. Tous les êtres qui ne sont pas doués de pensée, seraient-ils doués de vie, relèvent donc des seules lois de la matière. Tous les végétaux et tous les animaux en sont là. L'homme d'ailleurs en est là lui aussi pour toutes celles de ses activités vitales qui se distinguent de la pensée. Réserve faite de cette pensée, Descartes aurait sans doute admis la thèse matérialiste qui explique tout dans le monde par la matière et le mouvement. Les plus hautes fonctions organiques se réduiraient, en somme, à de simples déplacements de particules matérielles.

A l'opposé de Descartes, pour lequel ces fonctions organiques s'accomplissent, chez l'homme, sans que l'âme soit appelée à intervenir dans leur exécution, toute une École revendique pour l'âme, dans les opérations même purement physiologiques du composé humain, une part qui ne vise à rien moins qu'à l'exclusion de tout autre principe d'activité. Cette École *animiste* stricte se recommande d'Aristote, lequel « avait pensé que le concert, l'ordre qui paraît dans les opérations des êtres vivants, de quelque manière d'ailleurs qu'on explique chaque phénomène particulier, marque une tendance à un but, et, par suite, une action dépendante de quelque intelligence. En second lieu, entre les phénomènes de la vie et ceux qui appartiennent à l'âme pensante, il remarquait une liaison, une continuité qui ne permettait pas de les attribuer à deux principes différents. Selon lui, en conséquence, la vie venait de l'âme, de ce qui sent et qui pense [1] ».

Un animisme moins sévère s'est efforcé de s'installer entre ces deux opinions opposées : il existerait chez l'homme un principe vital distinct à la fois et de l'âme pensante et des forces ou principes physico-chimiques. Il y aurait ainsi, dans *tout vivant*, des principes physico-chimiques présidant aux phénomènes de la matière brute, et un principe vital présidant aux phénomènes de la vie végétative; de plus, chez l'*homme*, l'âme présidant aux phénomènes de la vie intellectuelle. Cette explication, du fait de l'introduction d'un principe vital, a reçu le nom de *vitalisme :* c'est la théorie dite de l'*Ecole de Montpellier*.

D'autres opinions ont été élaborées, mais qui n'apportent au débat rien d'essentiellement nouveau, comme l'*organicisme* et le *polyzoïsme*. Le principe, en effet, qui explique le développement et le fonctionnement soit des organes (organicisme), soit de chaque cellule considérée comme un des nombreux petits animaux dont

1. Ravaisson, *La Philosophie en France au XIXe siècle.* Paris, Imprimerie impériale, 1868, p. 169.

l'agglomération constituerait l'animal total (polyzoïsme), ou bien n'est pas différent de la matière même des organes et des cellules, ou bien s'en distingue essentiellement : mécanicisme dans un cas, vitalisme dans l'autre.

Les deux formes de Néo-vitalisme : *vitalisme mécanique* et *vitalisme psychique*, ainsi dénommés par Max Verworn, n'éclairent pas davantage la question [1].

Les tenants du vitalisme mécanique admettraient « qu'à la vérité les phénomènes vitaux reposent bien aussi au fond sur l'activité des facteurs physiques et chimiques, mais que les forces physiques et chimiques dans les organismes vivants sont reliées en un complexe si spécial, juqu'ici inexploré, qu'on doit provisoirement les mettre, en regard de toutes les autres forces de la Nature inorganique, sous l'étiquette d'une force vitale particulière, caractérisant seulement ce qui se passe dans les organismes vivants ». Si le « complexe si spécial » dont il s'agit n'ajoute rien aux forces physico-chimiques de ces organismes, ni ne les modifie en rien intrinsèquement, l'appel à une force vitale quelconque est dès lors sans objet et sans fondement : l'explication des phénomènes vitaux reste une explication essentiellement mécanique. Si, d'autre part, il ajoute aux forces physico-chimiques « une force vitale particulière », d'un autre ordre que ces forces physico-chimiques, celles-ci étant reconnues impuissantes à rendre raison des caractères si spéciaux des êtres vivants, nous nous retrouvons en face d'un principe ou « force hypermécanique », et nous voilà ramenés au vitalisme sans étiquette.

Le vitalisme que Verworn appelle vitalisme psychique est le néo-vitalisme de Bunge, auquel s'apparente « dans ce qu'il a d'essentiel, quoique aussi sous une forme plus poétique que claire », le néo-vitalisme professé par Rindfleisch. Verworn se prononce contre cette forme de vitalisme parce qu'elle émane de la notion « de l'insuffisance du matérialisme ». Cette prétendue tare d'origine ne suffirait pas à discréditer la théorie. Verworn déclare, en effet, que l'insuffisance du matérialisme est « parfaitement fondée ». Constater que le matérialisme est impuissant à satisfaire notre « besoin de causalité », et conclure de cette impuissance à l'existence de forces autres que les seules admises par le matérialisme est parfaitement logique et ne mérite pas d'être traité d' « idéalisme philosophique », que Verworn voie dans cette assimilation un éloge ou une injure.

On nous permettra de signaler en passant, dans le même ordre

1. Max Verworn, *Physiologie générale*, trad. Hédon, Paris, Schleicher, 1900, p. 51.

d'idées, une opinion que nous avons émise autrefois et que le P. Leroy a reprise, sans toutefois y adhérer, dans la *Revue* où nous publions le présent travail [1]. L'auteur, se demandant si les cellules ont « une vie partiellement autonome dans les organismes pluricellulaires », a écrit : « Cette question est âprement discutée. Le premier biologiste animiste qui l'ait abordée *ex professo* est le R. P. Boule S. J., dans un article des *Études* de juillet et de septembre 1914 ». En répondant à cette question par l'affirmative, et en admettant l'existence, dans chacune des cellules de l'organisme, de ce que nous avons proposé d'appeler des *principes cytodynamiques*, nous ne pensions pas devoir provoquer une émotion pareille à celle qui s'est bientôt traduite dans des écrits où nous avons été traité sans aucune aménité. Nous nous sommes tenu hors de la bagarre qui a très vite dégénéré en une querelle d'École au lieu de rester sur le terrain des faits biologiques. Si, après vingt-quatre années de silence, nous rappelons aujourd'hui cette querelle, c'est pour constater qu'aucune interprétation n'a été donnée, jusqu'ici, des faits sur lesquels nous avions fondé notre opinion, qui soit de nature à l'infirmer. Dans certaines cellules, et dans certaines conditions de vie soit naturelles soit expérimentales, l'existence de principes cytodynamiques ne fait aucun doute, et nul n'a encore prouvé que ces principes disparaissent si ces conditions de vie viennent à changer.

Avant de clore ces préliminaires il importe de préciser que si le terme de *vitalisme* se rattache historiquement à la doctrine de l'École de Montpellier, on peut cependant, étymologiquement, l'entendre dans un sens autre que celui qu'il tient du fondateur de cette École, P. J. Barthez (1734-1806).

Peut être tenu pour *vitaliste* quiconque professe que les phénomènes vitaux requièrent l'existence chez le vivant — plante, animal ou homme — d'un principe essentiellement irréductible aux forces physico-chimiques. Claude Bernard était vitaliste quand il écrivait : « Les êtres vivants présentent des phénomènes qui ne se retrouvent pas dans la matière brute, et qui par conséquent leur sont spéciaux. J'admets en effet que les manifestations vitales ne sauraient être élucidées par les seuls phénomènes physico-chimiques connus dans la matière brute [1] ».

C'est dans ce sens large aussi que M. V. Grégoire, Professeur de Botanique à l'Université de Louvain, entendait le vitalisme dans sa conférence sur *Le matérialisme contemporain et le problème de*

1. *Archives de Philosophie*, vol. VI, p. 47.
2. *Introduction à l'étude de la Médecine expérimentale*, 2e p., chap. I, § 5.

la vie : « Il faut admettre, dans l'être vivant, la présence d'un *principe fondamental d'activité* essentiellement différent de ceux de la matière inanimée : c'est ce que nous appelons le principe vital ».

C'est dans ces termes que nous entendons traiter nous-même ici la question.

Ce *principe vital* dont nous comptons établir la nécessité, nul est-il besoin de le souligner, ne l'a jamais vu. Si nous en faisons la remarque, c'est parce que certains esprits ont pu parfois estimer décisif certains arguments du genre de celui-ci : l'âme n'existe pas; aucun chirurgien ne l'a jamais aperçue sous le tranchant de son scalpel. Verworn lui-même n'a-t-il pas écrit : « S'il m'arrive dans une opération chirurgicale d'explorer le cerveau, je puis me convaincre que là encore il n'existe rien autre chose que des éléments matériels[1] »? Verworn a la conviction facile. N'avoir vu, dans le cerveau ou ailleurs, que des éléments matériels, ne prouve nullement que là où il les a vus, ils sont seuls à exister. Affirmer qu'une chose n'existe que pour autant que nous la voyons serait jeter, au bon sens le plus vulgaire, le plus déraisonnable des défis. En psychologie, en physiologie, comme en physique, en chimie, en mécanique, nous constatons des phénomènes; nous supposons une cause ou raison d'être, à savoir un principe, une force; mais ce principe, cette force, nous n'avons jamais pu la saisir *en elle-même*. Nous concluons à son existence avec autant de raison que nous concluons à l'existence d'un père et d'une mère lorsque nous observons un mammifère quelconque, encore que ses ascendants nous ne les ayons jamais vus ni ne devions jamais les voir. Le *phénoménisme*, qui exclut toute idée de causalité, quoi qu'il en soit de sa valeur philosophique, est, en dehors des sciences purement spéculatives, une absurdité. Introduit dans les sciences physiques, chimiques, biologiques, il mettrait fin à tous les *pourquoi* que l'humanité, en face de quelque fait que ce soit, se pose invinciblement, et serait la mort de toute recherche scientifique[2].

---

1. *Physiologie générale*, p. 42.

2. Sur toutes ces questions et d'autres qui n'entrent pas directement dans notre sujet, on lira avec intérêt et profit :

Chan. V. Grégoire, *Le mouvement antimécaniciste en Biologie.* « Rev. des Quest. scient. », octobre 1905.

F. Donau, *Un Vitaliste idéaliste, Hans Driesch.* « Rev. des Quest. sc. », avril 1910.

Chr. Burdo, *Le Vitalisme contemporain.* « Archives de Philosophie ». Vol. VI. Cah. 1, 1928.

P. Descoqs, *Essai critique sur l'hylémorphisme.* Bibl. des Arch. de Phil., 1924.

II. — LE VIVANT CELLULAIRE

1° Constituants cellulaires essentiels.

Nos conclusions devant pouvoir s'appliquer à tout vivant, cette condition délimite immédiatement le champ de nos investigations. Ce qu'il y a de commun à tout vivant, le plus simple ou le plus compliqué, embryonnaire ou adulte, plante, animal ou homme; ce qui, chez tous, est le substratum anatomique des phénomènes spéciaux qui caractérisent la vie, c'est ce qu'on appelle la *cellule*. Un certain nombre de notions fondamentales de *cytologie* sont donc indispensables à quiconque entend aborder la question du vitalisme cellulaire. Il ne sera peut-être pas hors de propos d'en rappeler ici les principales.

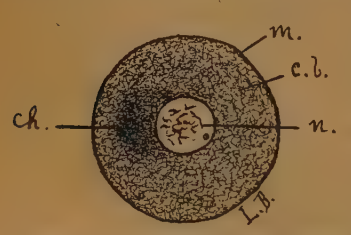


Fig. 1. — Schéma d'une cellule femelle (ovule) d'oiseau, avant la formation des matières jaunes; dessiné d'après une de nos préparations microscopiques d'ovaire de poule : m., membrane; n., noyau; c. h., cytoplasme spécifique ou chondriome, agent d'élaboration des réserves ; c. b., cytoplasme banal.

Pour donner tout de suite de la cellule une idée qui soit universellement accessible, parce que n'exigeant aucune connaissance scientifique préalable et partant d'une observation des plus simples, à la portée de tous, rappelons à ceux qui déjà le savaient, et apprenons aux autres, que ce qu'on appelle le *jaune*, dans l'œuf des oiseaux, est une cellule.

Il est facile de constater que ce jaune est entouré d'une mince pellicule qu'on peut mettre en évidence en la soulevant après l'avoir percée à l'aide d'une pointe fine. Cette pellicule, c'est la *membrane cellulaire*.

Dans le jaune, immédiatement au-dessous de la pellicule et à un endroit quelconque de la périphérie, on remarque une zone réservée, d'aspect blanchâtre et qui, dans l'œuf non fécondé, ne mesure que deux millimètres environ de diamètre : c'est la cicatricule. Elle renferme un élément fort important, mais qui n'est pas visible à l'œil nu : le *noyau*, appelé ici vésicule germinative.

La cellule, dans les premières phases de son développement, ne contenait pas encore les matières qui lui donnent la couleur jaune. Tout l'intérieur entre la membrane et le noyau était occupé par une substance d'aspect spumeux, spongieux (on dit encore d'aspect

alvéolaire, réticulaire, bien que ces termes ne soient pas synonymes) : le *cytoplasme* (qui porte encore ici le nom de vitellus formatif).

Dans les lacunes de ce cytoplasme se sont déposées peu à peu les substances de couleur jaune élaborées par le cytoplasme lui-même, substances de réserve dont l'ensemble forme le vitellus nutritif. Le vitellus nutritif n'est pas vivant.

Membrane ou équivalent d'une membrane, *noyau* et *cytoplasme*, trois éléments essentiels que, sous une forme ou sous une autre, présente toute cellule vivante.

Il suffit de cela pour faire un vivant : tous les vivants monocellulaires, protozoaires (animaux) ou protophytes (végétaux) en sont la preuve. La membrane, le noyau et le cytoplasme sont vivants [1].

Un vivant pluricellulaire ne doit d'ailleurs sa vie totale qu'à l'ensemble de ses vies cellulaires anatomiquement et physiologiquement organisées sous l'influence d'un principe unique de coordination.

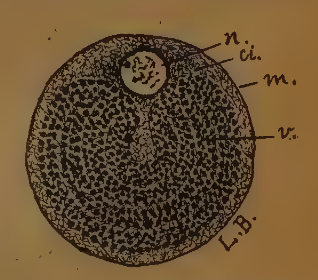


Fig. 2. — Œuf d'oiseau après formation du vitellus nutritif v.; ci., cicatricule, formée par du cytoplasme libre d'enclaves vitellines.

Si l'œuf d'oiseau dont nous venons de parler a été fécondé [2], et qu'il soit placé dans des conditions favorables de développement, sa cicatricule se segmentera, donnant deux cellules-filles qui se diviseront à leur tour, comme se diviseront aussi les quatre cellules issues de cette seconde segmentation, etc. Par ce processus de multiplication cellulaire, accompagné de différenciation progressive des cellules ainsi formées, s'édifiera, au sein de la coquille, l'organisme du jeune oiseau. A en juger du point de vue purement anatomique, cet organisme nouveau ne sera pas autre chose qu'un agrégat de cellules néo-formées.

Ce mode de formation étant essentiellement le même chez tous les pluricellulaires, même chez ceux qui étant d'origine parthénogénétique ne dérivent pas d'un œuf fécondé, mais d'un simple ovule, il apparaît clairement que la vie, chez tous les êtres qui en sont doués, est à base cellulaire.

1. Il y a des membranes qui se surajoutent parfois à la membrane vivante, mais qui ne sont pas vivantes elles-mêmes, bien que *fabriquées* par la cellule; nous n'en parlons pas ici.

2. En parlant d'*œuf fécondé* nous employons un langage que tout le monde comprend, mais qui n'est pas d'une absolue exactitude biologique; du point de vue où nous nous plaçons, cela importe peu.

Il suffit, avons-nous dit, de trois éléments pour faire un vivant, puisqu'il suffit de ces trois éléments pour constituer normalement une cellule, triade répétée dans l'individu autant de fois que cet individu comporte d'éléments cellulaires.

Ces trois éléments, d'autre part, sont absolument indispensables, ce que nous avons d'ailleurs indiqué déjà en les qualifiant d'éléments essentiels.

Sans membrane, ou équivalent de membrane, le contenu cellulaire s'extravaserait et se répandrait dans le milieu ambiant. Or c'est un fait qu'il n'en est rien et que toute cellule constitue une individualité anatomique parfaitement délimitée. Le cas des masses syncytiales multinucléées, celui des ponts et des anastomoses intercellulaires, sur lesquels il serait trop long et sans intérêt de porter la discussion, ne constituent des exceptions qu'en apparence. Il n'y a donc jamais extravasation, accident qui serait évidemment fatal pour la vie de la cellule.

Sans noyau non plus — plus généralement sans la substance spéciale qui se présente d'ordinaire sous forme de noyau — la cellule ne saurait vivre. Le rôle que joue le noyau dans la division cellulaire indirecte; son intervention dans la transmission des caractères héréditaires; son importance bien caractéristique dans certains cas spéciaux d'activité cytoplasmique, auraient suffi déjà à nous faire au moins soupçonner sa nécessité dans le complexe cellulaire. D'autres phénomènes l'ont établie plus directement et de façon indiscutable. L'énucléation, par exemple, de la cellule, à la suite d'interventions expérimentales, aboutit assez rapidement à la mort du cytoplasme et d'ailleurs à la mort aussi du noyau, ce qui établit du même coup la nécessité de l'élément cytoplasmique.

2° Existence naturelle de ces constituants.

Nous ne nous attarderons pas à réfuter les assertions de ceux qui prétendent que les parties de la cellule, que nous venons de décrire, et que nous jugeons essentielles, n'existent pas dans la cellule vivante sous la forme que nous avons dite; mais qu'elles seraient le résultat de l'action des réactifs utilisés par les techniques microbiologiques sur des substances amorphes de leur nature, ou à l'état de simple émulsion. Une pareille opinion, si elle est professée de bonne foi, témoigne simplement, en plus de certaines autres déficiences, d'un manque absolu d'observation. Relativement nombreuses sont les cellules vivantes, soit animales, soit végétales, qu'il est possible d'étudier à l'état frais et qui, avant l'action de quelque réactif que

ce soit, manifestent la structure dont nous avons énuméré les composants essentiels.

Que des cellules réduites à cette simple structure soient vivantes, nous pouvons, même avant d'avoir indiqué ce qui nous paraît par-dessus tout caractériser la vie, signaler quelques observations qui ne laissent aucun doute à ce sujet.

Examinons au microscope, chez un animal vivant, par exemple chez la grenouille où l'expérience est de réalisation très facile, le sang en circulation. Portons notre attention aux endroits où la course des globules sanguins entraînés par le plasma dans lequel ils sont en suspension, est très ralentie ou même momentanément arrêtée, comme cela a lieu à certaines bifurcations de vaisseaux. Avec un peu de patience il nous arrivera de constater que parmi des globules (ou cellules) à teinte un peu rougeâtre, de forme fixe [1] et immobilisés dans leur marche, les hématies, il en est d'autres, presque incolores, à forme spontanément changeante, et doués de mouvements propres, les leucocytes, ou cellules blanches. Au sein de la masse des hématies arrêtées dans leur course passive, les leucocytes se frayent un passage, bousculant tout sur leur chemin, puis, soudain, s'arrêtent, s'étirent, perçant les parois vasculaires, sortant des vaisseaux et se répandant dans les tissus voisins.

Nul ne constestera que de pareils phénomènes ne soient spécifiquement vitaux. Or, bien que le vivant, le leucocyte, chez lequel nous proposons de les observer, fasse partie d'un tout assez complexe, l'organisme de la grenouille, ces phénomènes n'en sont pas moins des phénomènes strictement individuels et particuliers à cette cellule spéciale qu'est le leucocyte. D'ailleurs, ces globules blancs peuvent être tirés de l'organisme et conservés vivants hors de lui pendant des mois. Certains se sont montrés encore vivants après un an de cette existence totalement indépendante, et il est permis de croire qu'il serait possible de les garder ainsi indéfiniment si on pouvait réaliser des conditions expérimentales assurant normalement leurs échanges nutritifs.

D'autres cellules, soit de métazoaires, comme les cellules reproductrices mâles adultes, soit de cryptogames vasculaires, comme les anthérozoïdes des fougères, affectent elles aussi, même lorsqu'elles sont encore dans l'organisme où elles ont évolué, des allures indépendantes qui nous obligent de conclure qu'elles ont une vie bien à elles, une vie proprement cellulaire. Cette vie ne semble en rien

1. Cette forme, forme ovalaire, est fixe d'elle-même; mais elle peut changer passivement, sous l'action d'une pression, comme celle des parois des vaisseaux sanguins à calibre très réduit : élasticité des hématies.

diminuée quand ces cellules se séparent de l'organisme où elles se sont formées. L' « insémination artificielle » pratiquée en grand en Russie depuis quelques années, en est une preuve manifeste ajoutée à quelques autres.

Quant aux cellules fixes des organismes pluricellulaires, on ne peut nier que chacune d'elles ne possède, comme celles qui y sont libres, une vie parfaitement individualisée, bien qu'harmonisée avec la vie de l'ensemble : toute l'histoire de son développement ontogénique, depuis son état embryonnaire jusqu'à sa forme adulte différenciée, le prouve surabondamment. L'aptitude de ces cellules à être cultivées « in vitro », et leur comportement normal dans ces conditions, ne laisserait d'ailleurs aucun doute sur l'existence en elles, en tous temps, d'une sorte de vie privée, bien qu'il faille admettre que leur autonomie est nécessairement limitée par la nécessité, pour chacune d'elles, de se plier aux exigences physiologiques de l'organisme entier, dont elles sont partie intégrante, non point par une espèce d'adjonction accidentelle, mais en raison de leur origine commune.

A plus forte raison la vie est-elle cellulaire dans ceux des êtres vivants, et ils sont innombrables, animaux et végétaux, qui sont constitués par une cellule unique. Si, chez les pluricellulaires, la cellule a perdu l'autonomie absolue qui la distingue chez les protozoaires et les protophytes [1], en sorte que nous ne pouvons pas dire d'elle, en rigueur, qu'elle est *un vivant*, nous devons cependant affirmer qu'elle est *vivante*, et étudier en chacune d'elles, isolée de l'ensemble, les caractères qui la font vivante.

3° Substratum vivant élémentaire de ces constituants.

Si nous sommes à la recherche de caractères qui soient à la fois essentiels et exclusivement propres à l'être vivant, ce sera donc à la cellule que nous devrons les demander.

Or, si toute cellule est un composé symbiotique de parties solidaires qui, par conséquent, ne peuvent vivre qu'associées, chacune d'elles cependant, dans l'association cellulaire, est individuellement vivante.

Mais certains phénomènes nous invitent à descendre encore plus

1. Les différentes étapes de la restriction progressive de l'autonomie cellulaire, au profit de l'unité fonctionnelle du vivant total, depuis l'individu à cellule unique jusqu'à l'individu à cellules plus ou moins nombreuses, ont été particulièrement mises en relief par Etienne Rabaud dans ses *Eléments de Biologie générale*. Paris, Alcan, 1920. Chapitre sur la formation des organismes pluricellulaires.

bas que la membrane, le noyau, le cytoplasme, c'est-à-dire jusqu'à des constituants cellulaires plus élémentaires, pour y saisir la vie dans ce que nous appellerions un état plus parfait de pureté.

Si nous considérons une cellule en voie de division caryocinétique, le constituant essentiel de son noyau nous apparaît sous forme de petits bâtonnets, très avides de certains colorants et qu'on a, pour ce fait, appelés corps chromosomiques, chromosomes. Nul doute que chacune de ces unités nucléaires ne soit vivante.

Peut-on descendre plus bas encore sans sortir des limites de la vie? Les études entreprises pour trouver une solution satisfaisante à certains problèmes que pose le fait de la transmission des caractères héréditaires, ont conduit à admettre quelques hypothèses se rapportant à notre question. Faut-il admettre, dans les chromosomes, des particules vivantes représentatives de ces caractères : *pangènes* de Strasburger (lesquelles se grouperaient en « pangénosomes », groupés à leur tour en « ides » ou « chromomères », dont la réunion constituerait enfin les « chromosomes »), *gènes* de H.-J.Müller et d'autres Biologistes américains? Généralisant la question, peut-on, soit dans le cytoplasme soit dans le noyau, regarder comme le support de la vie le plus élémentaire les *unités physiologiques* de Herbert Spencer, les *gemmules* de Darwin, les *plastidules* de Haeckel, les *idioblastes* de Hertwig, les *ides*, *idantes*, *déterminants*, *biophores* de Weissmann? Faut-il prévoir comme prochaine l'apparition de quelque savant qui nous parlera de *proto* et d'*électrobiodes?*

Il ne faudrait pas ne voir dans ces théories que de simples vues de l'esprit, sans aucun lien les rattachant à l'observation directe des faits. Peut-être en trouverait-on la justification partielle dans les phénomènes de différenciation embryogénique de l'élément figuré du cytoplasme qui, dans la cellule nerveuse, est représenté par les neurofibrilles, et dans les phénomènes aussi de régénération de ce même élément à la suite de lésions destructives de la substance neurofibrillaire. Cette substance se constitue — et cela est vrai d'ailleurs de la croissance de n'importe quelle partie des trames vivantes cellulaires — par apposition de particules nouvelles aux particules préexistantes. De cette apposition, particule par particule, résulte la formation du réseau dans le corps cellulaire du neurone, et la croissance progressive de ses prolongements. Or toute la trame, soit dans le corps, soit dans les prolongements, est vivante. S'étant formée par fragments ajoutés à fragments, chacun d'eux était vivant ou l'est devenu au moment de son incorporation à la trame dont il fait partie intégrante. De même, après pulvérisation de l'appareil neurofibrillaire, pathologique ou expérimentale, on assiste

à son rétablissement par regroupement des unités du réseau, unités vivantes, puisque ce regroupement reconstitue une trame conductrice dont les caractères vivants sont indiscutables.

Ces faits sont encore de l'ordre de l'observation microscopique. Au delà des limites de la visibilité peut-on concevoir l'existence d'un substratum susceptible d'être le support de phénomènes vitaux? Pourquoi pas? Dans son magistral ouvrage sur « Les Fossiles » publié en collaboration avec M.-J. Piveteau, Marcellin Boule écrivait : « les organismes les plus infimes, Protozoaires, Bactéries et même peut-être les virus ultra-microscopiques, se montrent, devant la cytologie moderne avec une structure nettement différenciée, une organisation déjà compliquée. Ils ne sauraient représenter la forme de vie théoriquement la plus élémentaire »[1]. Sans doute, cette affirmation n'est pas exempte de tout esprit de système. Il n'en est pas moins évident que l'on peut, « théoriquement », et sans qu'aucune donnée scientifique actuelle s'y oppose, regarder comme douée de vie, dans la particule cellulaire vivante la plus élémentaire, chacune des molécules constitutives de cette particule. Nous nous trouvons d'ailleurs, même dans ce cas, en présence d'une extrême complexité. Il n'y a de vivant que ce qui est protoplasmique, et il n'y a de protoplasmique que ce qui est albuminoïde. Or, une des molécules albuminoïdes les plus simples, l'ovalbumine, est déjà d'une richesse atomique fort respectable :

$$C^{250}\ H^{409}\ N^{67}\ O^{81}\ S^{3}.$$

Lorsque la constitution chimique de ces corps sera plus parfaitement connue, peut-être constaterons-nous que nous avons affaire à des édifices moléculaires encore plus déconcertants. Mais quels qu'ils soient, la question se posera encore, s'ils sont vivants, de savoir si leur dislocation ne libérerait pas des éléments doués de vie. « Théoriquement » rien ne nous interdit de descendre jusqu'à l'atome. Celui-ci, d'ailleurs, n'est plus aujourd'hui l' « l'insécable » d'autrefois. Les phénomènes de radioactivité, en le dépouillant de ce privilège, permettent de nous demander si chacun des composants atomiques ne serait pas, enfin, dans la cellule, le dernier refuge de la vie. Ici encore aucune donnée scientifique actuelle ne nous interdit de le concevoir comme possible. S'il y avait, chez certains de ceux qui inclineraient à l'admettre, des arrière-pensées d'un autre ordre que l'ordre scientifique, leurs vues systématiques ne changeraient rien à la réalité des faits.

Le Dr Charles Singer nous semble prendre les choses bien au

1. Marcellin Boule et Jean Piveteau, *Les fossiles*, Paris, Masson, 1935, p. 852.

tragique quand il écrit, au sujet des « gemmules », « plastidules », « biophores », etc. : « Tous les mots dont l'énumération précède supposent une théorie de la vie qui est insoutenable. Suivant cette théorie, le protoplasma serait vivant parce qu'il serait un agrégat de petits corps distincts qui tous seraient semblables et dont chacun posséderait un pouvoir propre de croissance et de division. Ceux qui partagent cette sorte de foi sont surtout heureux de pouvoir reculer le mystère de la vie dans le domaine des choses trop petites pour être accessibles à la vue. Mais une solution de ce genre ne pourrait constituer un point de vue scientifique que si certaines autres conditions étaient réalisées. Parmi ces conditions est celle-ci : il faudrait démontrer qu'un agrégat de parties *non vivantes par leur origine* peut avoir des propriétés dont l'existence n'a été reconnue *que dans les substances vivantes* et toujours dans les substances vivantes »[1].

Les réserves du Dr Singer ne seraient valables que s'il était impossible de concevoir des particules vivantes infra-microscopiques. Cette impossibilité, l'auteur il est vrai prétend l'établir. Il fonde sa preuve sur le fait que les propriétés caractéristiques de la vie « sont le métabolisme, le pouvoir de réparation des parties blessées, la reproduction, l'hérédité, l'adaptation au milieu, la *mémoire* c'est-à-dire la détermination du comportement dans l'avenir par l'influence du passé ». Si on tombe d'accord que toutes ces propriétés sont essentielles au vivant, il faudra admettre évidemment que la vie n'a été constatée que dans des éléments cellulaires abordables à l'observation microscopique. C'est pourquoi le Dr Singer concède volontiers aux chromosomes — éléments observables — une vie propre. Ils « persistent, se divisent, passent d'une cellule à l'autre et ont pour origine des corps de la même nature qu'eux-mêmes » (p. 376).

L'auteur serait d'ailleurs assez disposé à étendre à d'autres parties de la cellule les privilèges qu'il accorde aux chromosomes. Et sans doute les propriétés dont il s'agit — et qui ne sont pas toutes requises pour qu'il y ait vie — n'ont pas encore été observées dans les gemmules, plastidules, etc.; mais il ne s'ensuit pas que ces petits éléments cellulaires ne puissent être le support de propriétés de cette nature et ne le soient en effet, si tant est qu'ils existent. Cette question, écrit le Dr Singer, « relève non de discussions théoriques, mais de l'observation ». C'est exact s'il s'agit d'une question de fait, mais non pas s'il s'agit d'une question de possibilité. Il faut, en tous cas, se faire de la vie, du point de vue biologique, une idée qui

1. Dr Ch. Singer, *Histoire de la Biologie*. Trad. de l'Anglais par Gidon, Paris, Payot, 1934, p. 375.

réserve l'avenir et ne soit pas en contradiction avec des possibilités qui peuvent entrer quelque jour dans le domaine des faits. Peut-être sera-t-il nécessaire, pour s'adapter à ces prévisions, de faire le sacrifice de certains arguments traditionnels qui ne signifieront plus rien; mais de pareils abandons ont dû souvent être consentis sans qu'il en résultât la moindre humiliation pour des doctrines essentiellement dépendantes des progrès de l'expérimentation scientifique.

Dans le cas présent il est bien entendu d'ailleurs que « les parties de la cellule ne doivent être expliquées qu'en les rapportant à la cellule, exactement comme la cellule ne peut être expliquée qu'en la considérant dans l'organisme » (p. 375).

De même, comme nous l'avons vu, que le cytoplasme, bien que siège de phénomènes spécifiquement vitaux, ne peut être vivant qu'en symbiose avec le noyau, et réciproquement, les différentes parties de l'un et de l'autre, si elles sont individuellement vivantes, ne peuvent le demeurer qu'à la condition de faire partie de l'ensemble. Si nous voulons, par suite, essayer de déterminer les caractères essentiels de la vie, non point d'une vie théorique, imaginée dans l'abstrait, mais réelle, c'est à l'observation de la vie cellulaire totale que nous devons demander quels ils sont, d'autant, comme nous l'avons rappelé, que les organismes vivants sont très nombreux, qui ne comportent qu'une seule cellule.

III. — LES CARACTÈRES ESSENTIELS DU VIVANT DISCUSSION ET CHOIX DES CARACTÈRES A ÉTUDIER

La question étant précisée ainsi que nous venons de le dire, nous aurons à éliminer un certain nombre de particularités que nous offrent les êtres vivants, mais qui ne sont pas essentielles à la vie, parce qu'on ne les trouve pas dans les organismes où la vie se présente dans sa plus simple expression.

Il va sans dire d'abord que nous devons, en tout état de cause, renoncer à regarder comme caractéristiques propres du vivant, celles de ses particularités que l'on observe tout aussi bien dans les substances brutes. Ainsi en est-il des constituants chimiques qui entrent nécessairement dans la composition de toute cellule. Il n'est pas spécial à l'être vivant de contenir de l'hydrogène, de l'oxygène, du carbone, de l'azote, du soufre, du phosphore, du fer, etc. Grouper ces éléments, ou du moins les principaux, pour en faire des molécules albuminoïdes, les seules qui soient regardées jusqu'ici comme pouvant servir de support à la vie, n'est même pas réservé aux seules

substances vivantes. Wœhler a réalisé, en 1928, en dehors de tout organisme, la synthèse de l'urée. Le vitalisme pourrait cependant, même à ce sujet, revendiquer ses droits, en invoquant l'autorité de Claude Bernard affirmant que « les procédés de la vie sont à la fois chimiques dans leur résultat et spéciaux dans leur exécution ».

A côté de ces caractères qui sont, du moins sous quelques aspects, communs aux vivants et aux non vivants, certains autres sont bien spéciaux aux êtres doués de vie, mais cependant pas à tous, et ne peuvent par suite entrer pour nous en ligne de compte dans la recherche de ce qui est caractéristique du vitalisme cellulaire. Ainsi en est-il, par exemple, de la sensation, qui n'appartient pas aux vivants végétaux, et des fonctions strictement psychiques, qui n'appartiennent qu'aux vivants humains.

D'autres caractères sont beaucoup plus universels, et, d'autre part, appartiennent exclusivement aux êtres vivants, mais chez certains d'entre eux — les pluricellulaires — toutes les unités vivantes ne les présentent pas de façon constante, en sorte que la vie, si nous la considérons dans ces unités prises à part des autres dans l'organisme auquel elles appartiennent, ne comporte pas nécessairement pour elles l'existence *permanente* de ces caractères.

De ce nombre est la faculté qu'a la cellule de se diviser. Que le phénomène de la division cellulaire s'opère par le processus de la division directe ou par celui, beaucoup plus compliqué, de la division indirecte, il comporte des particularités qui ne permettent en aucune façon de l'assimiler à un phénomène de substance brute. De ce fait encore le vitalisme pourrait tirer argument pour établir la différence essentielle qui sépare les manifestations de la vie de celles de la matière inanimée. D'ailleurs, bien que la faculté de se diviser ne nous paraisse pas essentielle à la vie cellulaire, nous aurons cependant l'occasion de faire allusion aux phénomènes cytodiérétiques en parlant de la physiologie de la cellule. D'autre part, si, en fait, des cellules mûres, hautement différenciées, ne se multiplient plus, il serait peut-être téméraire d'en conclure qu'elles ont perdu le pouvoir de se diviser. Cette réserve nous paraît s'imposer, après les si intéressantes observations du Dr Alexis Carrel sur le comportement des tissus cultivés « in vitro ». Elle nous est aussi suggérée par la prolifération des cellules de certaines tumeurs malignes.

S'il est un caractère qui, au premier abord, se présente avec des titres indiscutables à être considéré comme exclusivement propre à toute substance vivante et comme lui étant, de par ailleurs, essentiel, c'est bien celui de l'*organisation ;* à telle enseigne que dire substance organisée, c'est dire équivalemment substance vivante, à l'exclusion

absolue de la substance brute, regardée comme inorganisée.

L'organisation est, en effet, propre à toute substance vivante; elle la caractérise essentiellement et ne caractérise qu'elle. Ce qui n'est pas et n'a jamais été vivant, n'est pas et n'a jamais été organisé; « ce qui a vécu n'est plus doué d'organisation, n'est plus organisé [1] ». Mais il faut s'entendre sur ce qu'on appelle organisation chez le vivant. On la définit couramment : *le groupement, selon des dispositions morphologiques spéciales, de parties multiples, physiquement et chimiquement hétérogènes*[1].

Et il est bien vrai que la cellule, ce complexe hors duquel la vie ne peut exister, est constituée par le groupement de parties multiples, que ces parties affectent des dispositions morphologiques spéciales, et qu'elles sont physiquement et chimiquement hétérogènes, même en ne considérant que celles de ces parties qui entrent essentiellement dans la constitution de toute cellule.

Mais les corps bruts, eux aussi, peuvent être composés de parties multiples, physiquement et chimiquement hétérogènes, parties qui peuvent être groupées dans le composé selon des dispositions spéciales, comme le mettent en parfaite évidence les phénomènes d'isomérie. Il s'agit en effet, dans ce cas, de substances qui ont la même composition élémentaire et présentent pourtant des caractères physiques et chimiques différents. Or la différence des propriétés entre ces substances de composition identique, tient précisément au groupement selon des dispositions spéciales à chacune d'elles, de leurs constituants élémentaires. On ajoute, il est vrai, que ces constituants, dans les corps organisés, doivent se grouper selon des dispositions spéciales *morphologiques;* mais cela ne caractérise pas encore suffisamment, nous semble-t-il, l'organisation propre au vivant, en opposition avec l'organisation de la substance brute. Il n'y a, en effet, aucune répugnance intrinsèque à admettre que dans les corps isomères, par exemple, dont nous venons de parler, les atomes puissent se grouper de manière à réaliser des configurations ou *morphologies* moléculaires spéciales, dans les diverses parties du tout. Une machine quelconque, pour peu qu'elle soit compliquée, offre elle aussi un groupement, selon des dispositions morphologiques spéciales, de parties multiples, physiquement et chimiquement hétérogènes : elle n'est pas, de ce fait, un être vivant.

Enfin, des corps qui sont vivants peuvent cesser de l'être; ce passage de la vie à la mort se produit à tout instant dans la nature

1. E. Littré et A. Gilbert. *Dictionnaire de Médecine, de Chirurgie, de Pharmacie, et des sciences qui s'y rapportent.* 21e édition, 1908. Article « Organisation ».

organisée. Ce qui fut vivant est passé à l'état brut. « Ce qui a vécu — citions-nous tantôt — n'est plus doué d'organisation, n'est plus organisé ». Ces corps qui ont cessé d'être vivants, qui ont perdu leur organisation, conservent pourtant, dans leurs constituants physiquement et chimiquement hétérogènes, des dispositions morphologiques spéciales, tant que le travail des microorganismes de la putréfaction ne les a pas restitués au monde minéral élémentaire. Pourquoi, dès lors, leur refuser l'organisation? Et si l'organisation persiste dans ces corps sans vie, que leur manque-t-il pour qu'ils soient vivants?

On nous dit : « Ce qu'il y avait d'essentiel dans l'état d'organisation a disparu, et avec lui l'état d'activité, le mode du mouvement dit vital. L'accessoire seul reste, savoir : le volume, la forme, la consistance, la couleur, la structure des éléments, la texture des tissus, la conformation des organes, leur groupement en systèmes et en organisme »[1].

Tous ces éléments qui subsistent chez l'être qui a cessé de vivre, sont ceux qui entrent dans la définition de l'organisation, et qui y entrent seuls. Comment se fait-il, à ce compte, que cet être ne soit plus un être organisé? Manquerait-il quelque chose à la définition?

C'est cette même question qui se pose tout naturellement au biologiste en présence des faits si curieux — disons si déconcertants — de *réviviscence.* La réviviscence est la faculté que possèdent quelques animaux et quelques plantes, chez lesquels toute manifestation vitale a été abolie par dessiccation naturelle à l'air libre, ou par dessiccation artificielle à froid, de reprendre leur vie normale dès qu'on leur restitue l'eau qu'ils ont perdue. Certains de ces organismes ont pu être ramenés à la vie après vingt-sept années de dessiccation. Ils peuvent d'ailleurs en cet état, qualifié de vie latente, subir, au moins pendant quelques minutes, des températures qui les tueraient sans retour, à l'état de vie normale. Ainsi, des *tardigrades* et des *rotifères* supportent aisément pendant cinq minutes, une chaleur de 100°. On en tire la conclusion que l'eau est nécessaire aux manifestations de la vie, conclusion peu compromettante, et qui, d'ailleurs, n'explique rien. Ces êtres, en effet, ne sont pas morts. On les dit en état de mort *apparente;* en fait, ils vivent. S'ils ne vivaient pas, et s'il fallait prendre dans sa rigueur le terme de *reviviscence*, nous assisterions à des phénomènes de génération spontanée, la mort ayant ramené à l'état de substance brute les constituants de ces organismes. Génération spontanée réalisable pour ainsi dire à

1. Littré-Gilbert. *Ibid.*

volonté, puisqu'on a pu « ressusciter » jusqu'à 16 fois un même animal mis 16 fois en état de mort. Mais cette mort n'est pas réelle. L'organisation reste, puisque seul ce qui est réellement mort, « ce qui a vécu, n'est plus organisé ». Il peut donc y avoir organisation sans manifestation vitale [1]. Chez les êtres vivants, ou êtres organisés, l'organisation ne se confond donc pas avec la vie.

De quelque façon qu'on tourne et retourne la question, on est contraint d'admettre chez le vivant, en tant que vivant :

Un *élément matériel* consistant dans « des parties multiples physiquement et chimiquement hétérogènes, groupées selon des dispositions morphologiques spéciales », caractère que peuvent présenter aussi les non-vivants.

Et un *élément formel*, principe de vie animant ces parties multiples. C'est par lui que l'organisation est spécifiquement vivante. Lui absent, le substratum matériel organisé peut subsister : « volume, forme, consistance, etc. », mais « le mode du mouvement dit vital » a disparu; l'être qui fut vivant est mort. Il est devenu matière brute, non pas qu'il ne soit plus organisé, non pas qu'il soit dépourvu d'aucune des forces physiques et chimiques essentielles à la matière brute, mais parce qu'un principe qui lui est spécial fait défaut : le principe vital.

Tant que ce principe persiste, soit dans une cellule, soit dans un organisme pluricellulaire, la vie est possible. Si, par l'effet de conditions inhérentes au composé matériel, les manifestations de cette vie sont momentanément suspendues, le retour aux circonstances normales doit permettre aux phénomènes spécifiquement vitaux de se produire à nouveau.

En résumé, quel que soit celui des caractères du vivant que nous considérions, si ce caractère lui est essentiel et spécial, il le doit nécessairement à l'existence d'un principe d'activité pouvant se surajouter en lui aux principes propres de la matière brute, mais irréductible à ces principes.

Rappelons l'opinion de Claude Bernard, que nous avons enregistrée plus haut, et qu'aucune observation n'a encore infirmée : « Les êtres vivants présentent des phénomènes qui ne se retrouvent pas dans la matière brute, et qui par conséquent leur sont spéciaux. J'admets en effet que les manifestations vitales ne sauraient être élucidées par les seuls phénomènes physico-chimiques connus dans la matière brute ». Cette affirmation du grand Physiologiste est

1. La vie latente des graines est un exemple à ajouter à celui des animaux reviviscents.

particulièrement évidente dans celui des caractères du vivant dont nous venons de parler en en précisant le sens : le caractère de l'organisation, caractère que tous, à quelque École philosophico-biologique qu'ils appartiennent, reconnaissent comme un caractère propre de la substance vivante.

C'est à ce caractère seul que nous demanderons de nous fournir des preuves de l'existence chez le vivant, en tant que vivant, de manifestations vitales « qui ne sauraient être élucidées par les seuls phénomènes physico-chimiques connus dans la matière brute ».

Nous essaierons de saisir ces manifestations dans le cadre cellulaire. La cellule est le degré le plus simple de l'organisation, et l'organisation de l'être pluricellulaire n'est autre que la résultante de l'organisation de chacune des cellules qui le constituent.

Comment la cellule s'est-elle organisée? Nous l'ignorons. Dans l'ordre actuel, toute cellule nouvelle vient d'une cellule déjà organisée.

Deux groupes de phénomènes cellulaires — les seuls que nous retiendrons — ont avec l'organisation des rapports tout particuliers et qui, plus clairement que tous autres, requièrent dans leur explication adéquate l'intervention d'un principe d'activité dont la matière inerte ne nous offre aucun exemple. Nous voulons parler des phénomènes de *nutrition* et de *différenciation*.

Par la nutrition, la cellule maintient son organisation.

Par la différenciation, elle la spécifie.

L'organisation vitale, par opposition à celle que nous pensons devoir être concédée à la substance brute, est une organisation qui résulte de l'activité d'un principe de nutrition et de différenciation qui est essentiel au vivant cellulaire et lui est exclusivement propre.

Nous considérerons ces fonctions de nutrition et de différenciation *à part* l'une de l'autre, bien qu'en fait elles agissent *simultanément* et sur le même substratum matériel. La nutrition n'est pas autre chose que l'élaboration de la substance vivante spéciale à chaque espèce cellulaire, et donc différenciée.

IV. — LE VITALISME CONSIDÉRÉ DANS LA FONCTION DE NUTRITION CELLULAIRE

1° La nutrition comme caractère propre à la cellule.

La nutrition cellulaire consiste essentiellement dans la fabrication par la cellule de sa propre substance vivante. Cette fabrication,

indispensable au maintien de l'organisation particulière à chaque cellule, lui est essentielle; elle lui est aussi spéciale, et elle est enfin tributaire d'un principe qui lui est propre.

La fabrication continue de substance vivante est absolument nécessaire pour toute cellule qui vit. Le « mouvement vital » s'accompagne en effet d'une usure inévitable de tous les constituants cellulaires qui participent à ce mouvement. Si ces constituants n'étaient pas rétablis dans leur intégrité au fur et à mesure de leur dégradation, il en résulterait fatalement un ralentissement d'abord, puis une suspension totale momentanée (vie latente) ou définitive, de toutes les activités vitales de la cellule. Seules subsisteraient les activités qui ne relèvent d'autre principe que les forces physico-chimiques.

De plus, la nutrition est spéciale à la cellule. Ce n'est que par une simple analogie de comparaison qu'on a pu dire de quelques substances brutes qu'elles se nourrissaient. On n'a d'ailleurs pu le soutenir qu'en réduisant la fonction de nutrition à un simple phénomène d'accroissement dont le type est fourni par l'augmentation de volume d'un cristal se développant dans l'eau mère. Claude Bernard lui-même a cru devoir intervenir dans la discussion et faire remarquer que le cristal s'accroît *par le dehors*. C'est une simple *accession* (adjonction, apposition) par laquelle des particules nouvelles, au lieu de s'immiscer entre les particules préexistantes, se juxtaposent à l'ensemble, sur les faces du polyèdre. Dans le cas de la nutrition cellulaire il y aurait accroissement *par le dedans;* ce serait un phénomène d'intussusception. C'est pourquoi, a-t-on dit, « l'organisme vivant croît, le cristal mort s'accroît ». Il en est ainsi, en effet. Le contraste n'est peut-être cependant pas aussi flagrant qu'il pourrait paraître au premier abord. L'intussusception se réduit, en effet, à une accession « ad intra », une molécule, ou un atome, un groupe de molécules ou d'atomes se juxtaposant aux molécules ou aux atomes anciens.

On serrerait de plus près la question en faisant observer que « se nourrir », pour le cristal ou pour toute autre substance brute à laquelle on croirait pouvoir appliquer cette expression [1], comporte essentiellement une augmentation de volume par adjonction de substance nouvelle à la substance déjà existante. Il n'en est pas de même pour le vivant. La nutrition, pour lui, ne comporte pas nécessairement un accroissement de son volume. La fabrication de

1. Par exemple les plantes artificielles de LEDUC. Nous leur devions une mention ; elles ont eu leur heure de célébrité.

substance nouvelle peut viser simplement à remplacer à égalité celle qui a été désassimilée. C'est le cas de l'adulte qui ni n'augmente ni ne dépérit. La fabrication peut d'ailleurs être déficitaire, comme cela se produit chez l'être vivant à son déclin; le bilan nutritif, au lieu d'enregistrer une acquisition supplémentaire, accuse une moins-value plus ou moins importante suivant les cas.

Une autre considération est encore plus pressante. Claude Bernard, pour caractériser la nutrition propre au vivant, fait observer à qui voudrait, avec Descartes, ne voir dans les phénomènes nutritifs que de simples déplacements de molécules, tout s'expliquant là comme ailleurs par de la matière et du mouvement, que ce mouvement est un mouvement *dirigé*. Il ajoute, et l'argument est encore plus pertinent, que le minéral dont on dit qu'il s'accroît, est astreint à n'absorber que des éléments semblables à lui, sous peine de cesser d'être ce qu'il est [1], tandis que l'être vivant admet en lui des aliments qui, chimiquement, diffèrent de lui, et s'en sert pour constituer ses propres organes. L'être vivant, conclut Claude Bernard, est *directeur* de mouvements et *créateur* d'organes, ce que l'être mort n'est à aucun degré.

Les phénomènes de différenciation dont nous aurons à faire état plus loin mettront en pleine valeur le caractère nettement vitaliste, et non physico-chimique, de cette *direction* des réactions du vivant, dans l'interadaptation des cellules et des organes. Mais ce caractère proprement vital se manifeste déjà dans le phénomène par lequel la cellule se nourrit, abstraction faite du sens spécifique de sa nutrition.

2° Problème de la pénétration élective des substances nutritives dans la cellule.

Le premier acte de ce phénomène est la pénétration dans la cellule des éléments chimiques qu'elle utilisera pour élaborer sa propre substance vivante. Sa *propre* substance vivante, disons-nous, et non pas une substance vivante n'importe laquelle. Et cela pose dès l'abord un problème d'une extrême importance. C'est qu'en effet chaque espèce cellulaire, en plus de la constitution chimique fondamentale commune à toutes les cellules, en a une qui lui est personnelle. De là découle la nécessité d'un choix opéré par la cellule

1. Si l'acide sulfurique, par exemple, *absorbe* du fer, il n'y a plus ni acide sulfurique ni fer; il y a un corps nouveau, le sulfate de fer.

parmi tous les éléments chimiques que lui offre le milieu nutritif où elle vit. Ce choix est un fait. Toutes les substances « ne pénètrent pas indifféremment à travers toutes les membranes. Celles-ci opèrent ce que l'on pourrait appeler une *sélection chimique*, en rapport avec leur propre constitution et par suite relativement indépendante, dans une certaine mesure non encore déterminée, des lois physiques [1] ». E. Gley, que nous citons, n'est pas le premier qui ait fait cette remarque, mais la notoriété de l'auteur, professeur au Collège de France, professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris, membre de l'Académie de Médecine, lui confère une importance particulière. Il serait intéressant de savoir comment un phénomène que l'on prétend ne relever que des forces physiques peut être indépendant « dans une certaine mesure... des lois physiques », et surtout en quoi consiste cette indépendance. M. E. Gley n'en a rien dit.

Dans son traité de *Physiologie générale* Max Verworn pose la question : « comment la cellule glandulaire arrive-t-elle à élaborer son produit de sécrétion spécifique, pourquoi les cellules des glandes salivaires produisent-elles seulement de la ptyaline, celles des glandes stomacales seulement de la pepsine, bien qu'elles reçoivent toutes deux la même nourriture du sang? C'est ce que la chimie physiologique laisse pour le moment sans explication » (p. 32). L'explication paraît cependant fort simple, et s'il y a un mystère, il n'est pas là où le place Verworn. Les deux cellules n'élaborent pas le même produit, bien qu'alimentées doutes deux par le même sang, parce qu'elles ne prennent pas dans ce même sang les mêmes éléments : elles font un choix. Ce choix, Verworn ne songe pas à le nier. Tout le passage est à citer : « Un phénomène qui mérite une attention particulière, c'est le fait du *choix de la nourriture*. Parmi les différentes sortes de cellules vivant dans le même milieu, chacune d'entre elles n'absorbe que certains matériaux et précisément ceux dont elle a besoin pour la construction de sa propre substance. Ce phénomène apparaît déjà nettement pour les cellules des tissus des animaux supérieurs, par exemple de l'homme. Là c'est le liquide sanguin qui représente le matériel nutritif commun pour tous les tissus. Or, de ce liquide nutritif commun chaque forme cellulaire retire précisément les substances qui sont nécessaires à sa vie; pour les cellules muqueuses, ces substances sont autres que pour les cellules nerveuses, pour les cellules musculaires autres que pour les cellules cartilagineuses, pour les cellules du foie autres que pour les cellules des organes des sens, etc. Les diverses cellules choi-

1. Gley. *Traité élémentaire de Physiologie*. Paris, Baillière, 1913, p. 72.

sissent, chacune selon ses besoins, des substances entièrement différentes »[1] (p. 168).

Pour illustrer ce fait du *choix* par un exemple, prenons celui dont nous nous sommes servi au début de cette étude : la cellule femelle chez les oiseaux. Cette cellule, qui deviendra l'ovule, admet en elle, en plus des éléments communs, ou en plus grande quantité, ceux qu'elle utilisera pour fabriquer les abondantes réserves lécithiques qui formeront le jaune de l'œuf. Elle n'a que faire des éléments d'où dériveront et les couches concentriques d'albumine, et les chalazes, et les membranes coquillières, et la coquille, éléments dont le choix, que nous serions tenté d'appeler judicieux, sera le fait de certaines cellules de l'oviducte du même organisme, cellules qui, elles, n'ont aucun besoin des matériaux destinés à fournir le jaune ovulaire. Et pourtant, c'est le même milieu nutritif, le sang du même animal qui porte aux unes et aux autres de ces cellules, tous ces éléments *en vrac*, au choix.

3° Explications diverses du phénomène de pénétration.

1. — Semi-perméabilité de la membrane.

Des explications ont été tentées. La plus satisfaisante semble être celle que Gley paraît insinuer, et que d'autres formulent plus explicitement, à savoir que la sélection, puisque sélection il y a, serait en rapport, pour chaque cellule, avec la propre constitution de sa membrane. Le choix serait ainsi laissé aux soins de la membrane cellulaire. Il va de soi qu'il ne comporterait aucune délibération de la part de cette membrane. Ce serait un choix automatique. La constitution de la membrane étant particulière à chaque variété cellulaire, *on comprendrait* que le triage soit particulier lui aussi et attribue à chaque cellule ce qui lui convient.

Non; *on ne comprend pas.*

L'entrée des matériaux nutritifs dans la cellule serait réglée par la perméabilité, ou, plus exactement, la *semi-perméabilité* de sa membrane. Or cette semi-perméabilité est une propriété qui admet, ou qui interdit l'entrée des matériaux nutritifs dans la cellule, non

1. Verworn envisage des cellules qui sont déjà *diverses*. Comment le sont-elles devenues, puisqu'avant leur différenciation, étant toutes les mêmes, elles auraient dû puiser dans le milieu nutritif qui était le même pour toutes, les mêmes substances, et donc élaborer toutes, chacune en elle-même, la même substance vivante? La question reviendra.

pas en raison de la constitution même de la cellule, mais en raison de l'état physique de ces matériaux. Tous ceux qui sont dans le même état devraient, par conséquent, ou pénétrer ou rester dehors. Mais il n'en est rien. C'est pour cela sans doute que Gley écrit que l'absorption sélective de la membrane est « dans une certaine mesure » indépendante des lois physiques.

Cet essai d'explication ne fait du reste que déplacer le problème. A l'origine de son développement ontogénique, l'individu est constitué par une seule cellule. Il n'y a donc, à ce moment-là, qu'une membrane. Si cette membrane ne laissait pénétrer que les éléments en rapport avec sa constitution, toutes les cellules résultant de la multiplication de la cellule initiale devraient se ressembler, et leur différenciation deviendrait impossible. Or, c'est un fait qu'elles ne se ressemblent pas et que chacune se différencie, devenant, à chaque étape de son développement, autre qu'elle n'était à l'étape antérieure, et autre aussi que celles qui n'appartiennent pas au tissu dont elle fait partie. Il faut donc qu'à un moment donné certaines membranes aient laissé passer des éléments d'une autre nature que ceux qui les constituent. Comme d'ailleurs ce sont les cellules qui élaborent leurs membranes, si celles-ci ne se ressemblent pas, c'est donc que dans la cellule sont entrées des substances différentes de celles qui sont en rapport chimique avec celles de la membrane primitive et que la cellule a utilisées pour modifier cette membrane. Ne vouloir admettre que des lois et des forces physico-chimiques, c'est s'enfermer dans un cercle vicieux d'où aucune issue logique ne permet de s'évader.

Mais il y a plus.

La constitution chimique du noyau n'est pas exactement celle de la membrane de la cellule. Si cette membrane fait obligatoirement, parmi les matériaux que le sang (ou plus généralement le milieu nutritif) lui apporte, une sélection en conformité avec sa propre constitution, le noyau ne recevra jamais les éléments en rapport avec sa constitution à lui. Or, il les reçoit.

Un cas plus compliqué encore est sans doute celui de la membrane des cellules de la muqueuse intestinale par lesquelles se fait l'absorption des produits de la digestion. Il est incontestable que cette membrane ne borne pas son choix aux matériaux nutritifs dont la constitution chimique répond à sa propre constitution. C'est elle, en effet, qui est comme la pourvoyeuse de toutes les cellules de l'organisme, quel que soit leur chimisme propre. Elle est donc astreinte, pour remplir convenablement son rôle, à permettre l'entrée de toutes les substances nutritives que l'action des diastases digestives

a rendues absorbables. Ces substances nutritives seront convoyées par le sang qui en fera la distribution aux différentes cellules de l'organisme; mais le sang se trouve derrière la barrière que constituent les cellules de la muqueuse des villosités de l'intestin, et c'est de la traversée de cette barrière dont il s'agit, ou absorption intestinale. Gley dit de cette absorption qu'elle n'est « ni une simple diffusion et imbibition, ni une simple osmose ou diffusion à travers une membrane hémiperméable » (p. 283). La paroi intestinale « manifeste une activité propre, elle joue un rôle. On ne sait pas encore en quoi consiste exactement ce rôle; il dépend probablement de telle ou telle propriété physique ou chimique des constituants cellulaires » (p. 284). C'est la même explication que celle qui a été donnée de l'absorption par chaque cellule des éléments choisis dans le sang. Nous venons de voir ce que valait cette explication.

Le problème qui se pose au sujet du passage des éléments nutritifs à travers la membrane externe et interne de la cellule de la muqueuse intestinale, se retrouve, le même, de l'autre côté de la barrière. Les membranes des cellules des parois des vaisseaux sanguins des villosités, en effet, ne laissent pas passer seulement ceux des produits de la digestion qui sont en conformité chimique avec leurs propres constituants, mais tous ces produits indifféremment, pour assurer le ravitaillement de toutes les cellules de l'organisme, si différentes qu'elles soient entre elles.

A tous ces cas dont chacun nous impose la même conclusion, à savoir que nous sommes bien là en présence de phénomènes qui n'appartiennent qu'au vivant et dont l'explication dernière suppose l'entrée en scène de forces autres que celles qui gouvernent le monde de la physique et de la chimie, vient s'ajouter ce que nous pouvons appeler une contre-épreuve. Elle nous est fournie par le cas des cellules mortes. Nous venons de parler de la semi (ou hémi) -perméabilité. La semi-perméabilité consiste dans le fait qu'une membrane vivante, qui se laissera traverser par l'eau, opposera une barrière infranchissable à certaines des substances qui seront en dissolution dans cette eau. Or, dès qu'elle est morte, la membrane cellulaire animale ou végétale devient perméable à tous les corps dissous comme à leurs solvants. « Il semble donc que l'absorption n'est pas toujours réductible à un simple phénomène osmotique, ou du moins celui-ci paraît être réglé, dans certains cas, par une activité propre de la cellule vivante ». C'est à cette conclusion, formulée par J. P. Morat et M. Doyon, dans leur grand *Traité de Physiologie* (t. IV, p. 438), qu'ont abouti tous les Physiologistes qui ont étudié, sans prévention d'École, des phénomènes de cette nature. « L'absorp-

tion des produits de la digestion... était autrefois considérée par la plupart des physiologistes, comme un phénomène d'osmose des plus simples... Cette théorie purement physique de l'absorption a été défendue... par Hamburger... Il n'en est pas moins certain que le revêtement épithélial joue dans la résorption... un rôle prépondérant, et qu'il y a là autre chose que de simples phénomènes d'osmose »[1]. « Les travaux récents ont montré que les forces physiques, osmose, dialyse, filtration, n'ont pas dans l'absorption digestive le rôle prépondérant qu'on leur attribuait autrefois, et qu'il faut tenir le plus grand compte de l'*activité propre* de l'épithélium intestinal »[2]. Mettre en opposition *forces physiques* et *activité propre* des cellules, n'est-ce pas proclamer qu'entre les phénomènes spécifiquement vitaux et les phénomènes purement physiques il ne saurait y avoir de commune mesure et qu'il faut recourir à des principes essentiellement différents pour apprécier comme il convient les uns et les autres?

2. — Constitution physico-chimique de la membrane.

Tous les physiologistes ne sont cependant pas aussi explicites que ceux que nous venons de citer. Certains, tout en signalant l'allure un peu déconcertante de quelques-uns des phénomènes de la nutrition, font confiance à la science pour finir par trouver une explication physico-chimique de toutes les activités nutritives. Parmi eux citons celui qui nous semble avoir serré le problème de plus près : E. Lambling.

« Parmi les substances que lui offre le milieu aqueux ambiant, la « cellule admet donc les unes et repousse les autres, c'est-à-dire « qu'elle paraît apte à faire un « choix ». Quel est le mécanisme de « ce phénomène? Disons tout de suite qu'il faut se défendre ici « d'interprétations telles qu'en implique ce mot « choix », et qui « ramèneraient le phénomène à une propriété spécifique de la cel- « lule tout entière. Rappelons, en effet, qu'encore tout près de nous, « les travaux chimiques de la cellule étaient considérés, eux aussi, « comme un acte physiologique inséparable du « tout vivant », « que représente la cellule. Puis ces opérations ont été ramenées à « autant d'actions diastasiques produites par des agents que l'on « peut isoler de la cellule. Pareillement, il faut s'efforcer d'expliquer

1. L. Fredericq et J. P. Nuel. *Éléments de Physiologie humaine*. Paris, Masson, 1904, p. 274.
2. F. Viault et F. Jolyet. *Traité élémentaire de Physiologie humaine*. Paris, Doin, 1903, p. 207.

« la perméabilité de la cellule vis-à-vis d'une substance donnée par « les propriétés physico-chimiques des constituants de la cellule, « confrontées avec celles du corps absorbé [1] ».

Nous pourrions, dès l'abord, faire observer que la comparaison avec la découverte des actions diastasiques n'éclaire pas beaucoup le problème fondamental. Ce n'est pas parce qu'on aura mis le mot *diastases* à la place de celui de *cellule*, qu'on aura résolu les difficultés auxquelles Lambling fait allusion, car les diastases sont élaborées par les cellules, et « l'aptitude des cellules à produire, selon leurs besoins, des sécrétions diastasiques nouvelles » [2] n'est pas faite pour simplifier la question. En tous cas, elle la rend solidaire du « tout vivant » auquel l'auteur voudrait la soustraire.

Quant à l'explication purement physique, ou physico-chimique, du « choix » opéré par la cellule, elle fait état de plusieurs facteurs qui se résument dans la présence de substances *lipoïdes* et de substances *non lipoïdes* dans la constitution de la membrane cellulaire. Ici encore nous nous trouvons en présence d'une solution dilatoire, c'est-à-dire qui ne fait que retarder la conclusion en déplaçant le problème sans le résoudre : « La perméabilité de la cellule pour certains corps est liée à la solubilité de ces corps dans les lipoïdes de cette membrane [3] ». Nous posons alors la question : pourquoi des corps solubles dans les lipoïdes traversent-ils la membrane de certaines cellules et ne traversent-ils pas la membrane de certaines autres? On nous répondra sans doute que les lipoïdes ne sont pas les mêmes dans toutes les membranes. Réponse inopérante. D'abord, la pénétration étant affaire de solubilité, peu doit importer la constitution de la membrane au point de vue chimique, pourvu que la solubilité des substances qui la baignent soit assurée.

Nous demanderons ensuite : si les lipoïdes d'une membrane sont si différentes des lipoïdes d'une autre, comment a pu s'opérer cette spécification des lipoïdes, répondant à la spécification des cellules, à partir de la membrane primitive de la cellule-œuf?...

Rappelons brièvement les faits.

La cellule-œuf est le premier stade embryonnaire de l'individu nouveau : stade unicellulaire. Cette cellule-œuf va se diviser. Chacune des deux cellules auxquelles cette division donnera naissance s'est adjugé, en se séparant de l'autre, la moitié de la membrane de la cellule-mère. Dans ces deux cellules la membrane est donc identique. Le cas où la séparation s'établit par formation d'une plaque

1. E. Lambling. *Précis de Biochimie.* Paris, Masson, 1919, p. 135.
2. p. 125.
3. p. 135.

équatoriale (ce qui est de règle chez les végétaux) ne change rien à la question, chacune des cellules-filles emportant la moitié de cette plaque dont rien ne prouve qu'elle n'était pas homogène dans toute son épaisseur. Affirmer que dès ce moment la constitution «lipoïdique» diffère d'une membrane à l'autre, serait absolument gratuit et ne pourrait avoir d'autre valeur que celle, peu scientifique, d'une échappatoire. Or toutes les membranes se formeront de même au cours du développement de l'individu. Si on vient à constater qu'en fait la constitution de certaines membranes ne répond pas à la constitution de certaines autres de même origine embryonnaire, cela même pose un problème extra physico-chimique qui vient s'ajouter à beaucoup d'autres de même nature.

C'est qu'en effet c'est la cellule qui élabore sa membrane. Si donc on trouve dans cette membrane un type de lipoïdes qu'on ne rencontre pas ailleurs, c'est évidemment qu'il est entré dans la cellule limitée par cette membrane des substances qui n'ont pas pénétré dans les autres. Mais avant cette pénétration qui a diversifié la membrane en question, cette membrane non encore diversifiée ressemblait à toutes les autres, issues comme elle plus ou moins immédiatement de la cellule-œuf. Si cette pénétration est réglée par la constitution chimique de la membrane, il n'aurait dû jamais entrer dans une cellule des matériaux « lipogènes » différents de ceux qui sont entrés dans les autres. Qui pourrait songer à mettre cette pénétration frauduleuse au compte d'une défaillance accidentelle de la membrane qui montait la garde autour du mur de ronde de la cellule? Ce serait livrer aux caprices du hasard une orientation ontogénique dont tout contribue à prouver qu'elle est, au contraire, parfaitement ordonnée.

La constatation de l'entrée dans la cellule de certains corps : sels, sucres, etc., qui y pénètrent « malgré leur insolubilité dans les lipoïdes [1] », aggrave encore la difficulté. Pour la résoudre « on a été amené à rechercher si vraiment les lipoïdes constituent à eux seuls la membrane limitante des cellules. Il semble bien que non ». Ce serait alors par l'intermédiaire de « constituants non lipoïdes que se ferait la pénétration des corps non solubles dans les lipoïdes [2] ». En somme : ce serait, d'ordinaire, par les lipoïdes que les corps pénétreraient dans la cellule; quand les lipoïdes ne se prêtent pas à cette pénétration, ils y pénétreraient autrement, puisqu'ils y pénètrent. C'est fort simple, on le voit; encore fallait-il y songer.

1. Lambling, *ibid.*, p. 139.
2. *Ibid.*, 159.

Comme rançon de sa simplicité, cette solution comporte l'inconvénient de supposer prouver ce qui, précisément, est en litige... Nous trouvons, par surcroît, que ces procédés d'explication nous ramènent vraiment par trop à la méthode déductive, tant décriée, de la philosophie du moyen âge. En procédant par une autre méthode, qui est celle des sciences expérimentales, on aboutit au moins à cette conclusion, non équivoque, que nous avons déjà entendu formuler par un physiologiste des plus avertis, à savoir que la nutrition nous met en présence d'un certain nombre de phénomènes relativement indépendants des lois physiques. Cette assertion, ou ne signifie rien, ou implique l'existence de forces d'une autre nature que celles qui commandent les lois physiques, les phénomènes dont il s'agit ne pouvant tout de même pas se produire en marge de toute loi, et l'expérience montrant d'ailleurs, d'autre part, qu'ils sont parfaitement ordonnés. Or, juger ainsi, c'est juger en vitaliste.

3. — Théorie de l'imbibition.

Nous ne pouvons pas clore cette question, dont l'importance est si manifeste, sans rappeler qu'Étienne Rabaud, Professeur de Biologie expérimentale à la Faculté des sciences de Paris, dans ses *Éléments de Biologie générale*[1], lui a consacré, avec l'autorité qui s'attache à sa haute valeur scientifique, quelques pages qui résument fort bien le problème, mais ne lui donnent cependant, aucune solution positive (Pages 46 et suiv.).

L'auteur constate d'abord, après beaucoup d'autres Biologistes, que certaines substances pénètrent dans la cellule à l'exclusion de certaines autres. Celles qui y pénètrent y entrent en dissolution dans l'eau. L'entrée de l'eau ne semble soulever aucune difficulté particulière. Il en va tout autrement des substances dissoutes, à tel point que leur pénétration a été niée catégoriquement, pour la cellule végétale, par Nægeli, Hofmeister, de Vries, et pour la cellule animale, par Bataillon. L'expérience a montré la fausseté de ces opinions. Le résultat était d'ailleurs facile à prévoir : si, en effet, ces substances ne pouvaient pas pénétrer dans la cellule, comment se ferait-il qu'elles y soient?... Le problème de leur pénétration ne peut donc être éludé.

En demander la solution à l'*osmose* n'est pas du goût de Rabaud. La *semi-perméabilité* de la membrane ne lui dit rien qui vaille : elle lui paraît contredite par les faits. Il n'a pas de sympathie pour la

1. Étienne RABAUD, *Eléments de Biologie générale*, Paris, Alcan, 1920.

théorie de la *tension superficielle* de Traube, ni pour celle des *espaces intermicellaires* de J. de Rufz de Lavison, ni pour celle des *champs électro-statiques* de Girard, et il en donne les raisons, qui nous paraissent convaincantes. L'hypothèse du *pouvoir dissolvant des lipoïdes* de la membrane cellulaire le séduirait assez, si Ruhland n'avait pas montré « que certains colorants insolubles dans les lipoïdes pénètrent dans le sarcode, tandis que d'autres, solubles dans les lipoïdes, ne pénètrent pas [1]. On est alors conduit à imaginer que la couche périphérique du sarcode, analogue à une mosaïque, est composée à la fois d'albuminoïdes et de lipoïdes, hypothèse qui dépasse sensiblement les faits observés. Serait-elle exacte, qu'il faudrait encore expliquer comment, à dose anesthésiante, l'hydrate de chloral et l'éther, solubles dans les lipoïdes, ne pénètrent pas dans la cellule, tandis qu'ils y pénètrent à doses plus élevées » (p. 52).

En somme, la théorie de l'osmose « a montré son impuissance » à expliquer les phénomènes des échanges cellulaires, et Rabaud se demande s'il ne vaut pas mieux renoncer à la modifier sans cesse pour dissimuler ses désaccords avec les faits, et chercher autre chose. Cet autre chose, l'auteur pense, avec Mayer et Schæffer, pouvoir le demander à la théorie de *l'imbibition*. On commence par supprimer la membrane : de ce fait, la question de sa pénétration ne se pose plus. Il est vrai d'ailleurs, comme le disent ces auteurs, et la chose est depuis longtemps admise, que la membrane qui individualise anatomiquement la cellule, peut n'être pas autre chose que la zone périphérique cellulaire « modifiée dans son apparence physique par la tension superficielle, mais ne différant pas, quant à sa composition chimique, du reste de la masse sarcodique » (p. 53). On comprend parfaitement, dans ce cas, que les substances dissoutes puissent pénétrer dans le sarcode, véhiculées par l'eau qui imbibe toute la masse. Mais ce que l'on comprend moins, ce que certains ne comprendront même pas du tout, c'est que dans ces conditions certaines substances dissoutes pénètrent dans un sarcode et ne pénètrent jamais dans un autre, ni surtout que parmi les substances qui imbibent le sarcode certaines pénètrent jusque dans le noyau, tandis que d'autres, et toujours les mêmes, restent dans le cytoplasme. Les tenants de la théorie de l'imbibition ont-ils soupçonné la difficulté? Que n'ont-ils alors songé à la résoudre! Faut-il voir un essai indirect d'explication dans cette remarque, que les constituants de la cellule ne sont pas, les uns par rapport aux autres, dans une pro-

1. Le terme de *Sarcode* est employé comme synonyme de protoplasme et de cellule. Primitivement il a été appliqué par Dujardin, qui l'a introduit dans le langage biologique, à certains animaux unicellulaires : infusoires, rhizopodes, spongiaires.

portion quelconque, mais « en proportions définies pour chaque sarcode pris en particulier »? (p. 53).

Peut-être pourrait-on prétendre que les constituants existant déjà dans le sarcode exercent, par voie d'*affinité*, une attraction sur les constituants de même nature que l'eau apporte en dissolution à la périphérie cellulaire. On comprendrait ainsi qu'il n'y ait imbibition que pour certaines des substances offertes à la cellule.

A qui suggérerait une pareille explication, nous répondrions d'abord qu'il n'y a pas similitude entre les constituants des sarcodes et les substances qui leur sont apportées par le milieu nutritif circulant. Ces substances ne sont encore que les matériaux plus ou moins complexes destinés à être travaillés par le sarcode après qu'ils auront pénétré en lui, et à devenir alors seulement substance vivante. Remarquons ensuite que cette explication suppose l'existence de cellules déjà dissemblables du point de vue de certains au moins de leurs constituants. La question se pose donc, et ne peut être évitée, de savoir comment elles ont pu devenir dissemblables à partir de la cellule unique qui, dans chaque individu, est à l'origine de toutes les autres. L'hypothèse de l'affinité du semblable pour le semblable ne saurait l'expliquer : elle rendrait impossible toute différenciation [1].

V. — LE VITALISME CONSIDÉRÉ DANS LA FONCTION DE DIFFÉRENCIATION CELLULAIRE

1° Les forces physico-chimiques dans la différenciation cellulaire.

L'organisation de la substance vivante telle qu'elle nous apparaît *actuellement*, comporte l'activité d'un principe de différenciation qui préside à l'évolution des cellules, en règle le développement de manière non seulement à assurer le fonctionnement normal individuel de chacune d'elles, mais à faire concourir ce fonctionnement à un résultat d'ensemble.

En parlant de la substance vivante telle qu'elle nous apparaît *actuellement*, nous voulons réserver l'opinion de ceux qui croient possible d'admettre que la vie ait pu, à l'origine, apparaître dans un

1. La difficulté serait encore plus grande, mais non toutefois essentiellement différente, d'expliquer comment les divers sarcodes, animaux et végétaux, ont pu dériver du sarcode primordial à l'origine de la vie sur notre globe, pour ceux qui admettraient l'évolutionnisme matérialiste intégral.

substratum non encore différencié. Nous la réservons, parce que nous croyons à la bonne foi scientifique de ceux qui la soutiennent. Nous ne pouvons toutefois nous empêcher de penser que cette façon de voir s'appuie sur un *a priori* assez flagrant.

D'abord, en l'espèce, aucune vérification n'est possible : nous sommes trop éloignés de l'instant solennel où la vie fit son apparition sur notre globe. Aucune intelligence humaine ne se trouvait là pour enregistrer son éclosion. C'est assez fâcheux pour une science qui ne croit qu'à l'observation.

A cette science, et précisément en cette matière, E. Reveillaud a fait remarquer en termes très heureux ce que son hypothèse comporte de contradictoire. « Qu'on nous dise maintenant avec les transformistes athées, que l'apparition de la vie sur notre terre a été le résultat exceptionnel des forces chimiques, et qu'on ajoute avec les darwinistes qu'il a suffi d'une ascidie pour couvrir notre planète de toutes ses plantes et de tous ses animaux, soit! le miracle disparaît ainsi sans doute, mais que deviendrait alors la notion de loi? Quoi, les forces chimiques auraient en un certain jour, comme par accident, créé une ascidie et doté notre globe de deux ou trois règnes nouveaux! La série toujours la même des phénomènes inorganiques aurait, on ne sait pourquoi, suspendu sa marche pour produire une cellule en qui auraient été renfermées à l'état latent les quelques cent mille espèces d'êtres organisés! Mais l'enfantement d'une telle cellule serait une chose si merveilleuse qu'il devrait nécessairement entrer dans la loi des forces chimiques, et comment l'y faire entrer sans en faire sortir la notion de constance, qui est celle même de toute loi[1] ? »

L'expérimentation, d'autre part, quand elle s'applique sans parti pris à l'étude des phénomènes de différenciation de la substance vivante, se heurte à des processus biologiques qui, s'ils étaient portés au compte des lois physico-chimiques, seraient une éclatante négation de la constance de ces lois, constance de par ailleurs indéniable. Lorsque quelque phénomène la contredit, c'est donc que ce phénomène n'est pas du ressort de ces lois et que, sinon dans toute sa teneur, du moins, dans certains de ses aspects, il relève d'un principe particulier.

Nulle part cette opposition n'apparaît mieux que dans les procédés de la différenciation cellulaire.

Certes ces procédés, pour rappeler la parole de Claude Bernard,

1. H. M. Drummond, *Les lois de la Nature dans le monde spirituel.* Traduit de l'anglais. Introduction par Eugène Reveillaud. Paris, Fischbacher, 1887, p. 42.

sont « chimiques dans leur résultat », et on ne voit pas comment il pourrait en être autrement, si on entend par *résultat* la fabrication de substance vivante, même spécialisée par la différenciation. Le résultat sera toujours une espèce albuminoïde, et pour la produire le procédé vital, si dégagé qu'on le suppose de la matière, ne pourra jamais se passer des éléments chimiques (azote, carbone, hydrogène, oxygène, etc.) qui entrent dans la constitution essentielle des différentes albumines animales ou végétales.

Mais dans l'*orientation* de ces opérations chimiques les procédés de la vie témoignent d'une surprenante maîtrise.

Il est de l'essence des forces physico-chimiques de produire toujours les mêmes résultats quand elles agissent sur des objets de même nature et dans des conditions identiques. S'il en était autrement, on serait en droit de conclure qu'il y aurait eu, au cours de l'opération, intervention d'une énergie échappant au déterminisme rigide qui caractérise les forces physico-chimiques, et par conséquent d'une nature différente de celle de ces forces. Or c'est précisément le cas de la vie dans ses manifestations de différenciation cellulaire, constamment en contradiction avec le déterminisme des forces de la matière brute : des éléments de même nature, dans des conditions identiques, évoluent différemment, tant du point de vue de leur structure que du point de vue de leur fonctionnement. Nous citerons plus loin (p. 86) un cas de différenciation physiologique auquel nous voulons faire dès maintenant une brève allusion, pour préciser notre pensée.

Il s'agit de la direction des mouvements des cils vibratiles de la muqueuse œsophagienne et de la muqueuse laryngienne. Ces muqueuses étant en continuité, on n'a aucune raison de penser que des conditions physico-chimiques différentes aient présidé au développement de leurs éléments ciliés. Admettons, si l'on veut, que le mouvement des cils de ces éléments ne soit qu'un mode de traduction d'une force physico-chimique existant dans les cellules différenciées à cet effet. Le principe de la conservation de l'énergie est respecté. Mais le mouvement des cils de la muqueuse pharyngienne est en sens inverse de celui des cils de la muqueuse œsophagienne. Or cette différence dans la *direction* du mouvement n'a aucun équivalent physico-chimique. Que les cils vibrent dans un sens *plutôt* que dans un autre, ce *plutôt* ne nous paraît représenter la transformation d'aucune énergie préexistante dans la cellule ciliée.

Ce cas s'apparente par là à un autre, qui relève d'un ordre tout différent, et avec lequel nous ne prétendons établir aucune similitude intrinsèque : le cas de la pensée et de la volition. Si les phéno-

mènes organiques qui, dans l'état actuel, conditionnent ces phénomènes psychiques, peuvent être mis, du moins par certains de leurs éléments, au compte d'une simple transformation d'énergie, la force essentiellement immatérielle qui utilise ces éléments n'est pas assimilable à cette énergie; les actes qu'elle commande ne représentent pas une de ses transformations. Ce rapprochement entre la vie végétative et la vie psychique, du point de vue de la conservation de l'énergie, le Dr Singer l'a fait aussi, dans un sens nettement vitaliste. Après avoir rappelé les étapes par lesquelles ont passé les théories physiques sur les conditions de transformation de l'énergie, depuis Carnot, il termine la discussion par ces réflexions que lui inspire la doctrine de Maxwell, laquelle lui apparaît comme « fournissant un argument crucial à la doctrine du vitalisme »: « La conception que nous nous faisons du comportement de la matière non organisée permet-elle d'expliquer, par exemple, la finalité évidente dans le développement de l'œuf? Explique-t-elle la conscience et la volonté? Rend-elle compte de tous les phénomènes de la vie et spécialement de la pensée? Le vitaliste répond par la négative, mais sa réponse n'a rien qui contredise aux lois de la thermodynamique[1]. »

Enfin, il est aussi de l'essence des forces physico-chimiques de s'épuiser tout entières dans la satisfaction des exigences actuelles des réactions qu'elles commandent. Jamais elles n'orientent leur action de manière à préparer la satisfaction d'une exigence qui ne se produira que plus tard. Toute leur activité regarde le moment présent et se dépense dans la satisfaction des nécessités de ce moment. La différenciation cellulaire, au contraire, oriente les transformations organiques auxquelles elle préside, *en prévision* de besoins qui ne se formuleront que plus tard. En d'autres termes, les phénomènes vitaux s'accompagnent bien de réactions mécaniques, physiques, chimiques, qui ne sont que des transformations équivalentes de quelque énergie matérielle mise en œuvre pour les produire, mais à ces réactions se superpose ce qu'Armand Gautier lui-même est amené à appeler des « formes », un « ordre », un « plan », une « direction », que d'ailleurs il oppose aux *phénomènes mécaniques ou physico-chimiques*, déclarant qu'il n'étudiera que ces phénomènes-là, « parce que seuls ils sont susceptibles d'équivalence entre eux et de mesure pondérable ». On ne saurait mettre plus nettement hors la loi « ce qu'on a nommé *force vitale*, principe *vital*[2] »; hors la loi physico-chimique, ce qui ne nous déplaît pas; tout ce que nous avons dit

1. Dr Singer, *ouvrage cité*, p. 424 et s.

2. Armand Gautier, *Leçons de Chimie biologique normale et pathologique*, Paris, Masson, 1897, p. 2, texte et note.

jusqu'ici a tendu précisément à prouver le bien-fondé de ce verdict. Ce que nous avons à dire maintenant de la différenciation ne fera que le confirmer.

2º Les rapports entre la différenciation anatomique et la différenciation physiologique.

La différenciation cellulaire peut être envisagée soit du point de vue anatomique, soit du point de vue physiologique. Ces deux points de vue se compénètrent d'ailleurs nécessairement. S'il était possible de concevoir théoriquement, il serait pratiquement impossible d'admettre qu'une cellule se donne une morphologie, une structure, spéciale, uniquement, dirions-nous, pour la satisfaction de se la donner. Raisonnant dans le domaine du normal, nous devons affirmer que toute cellule évolue anatomiquement de manière à réaliser un instrument spécial en vue d'une fonction spéciale elle aussi. Anatomie et physiologie sont dans une interdépendance de fait qui ne comporte aucune exception. L'intérêt fondamental de la question consiste en ceci que la physiologie commande l'anatomie, que la fonction commande l'organe. Si on peut imaginer, et s'il existe, en effet, des organes qui ne fonctionnent pas, on ne peut en aucune façon se faire une idée d'une fonction pouvant se passer d'organe. Ce serait une idée contradictoire, la fonction n'étant pas autre chose, au concret, qu'un organe à l'état dynamique. Pour qu'une fonction puisse s'exercer, il faut donc que l'organe ou instrument de cette fonction existe au préalable, et donc qu'il se différencie alors que la fonction n'existe pas encore, et *en vue de cette fonction*.

Ces notions fondamentales, qui paraissent de prime abord parfaitement évidentes, demandent toutefois à être précisées, car elles ont alimenté, depuis longtemps déjà, d'assez nombreuses controverses, et font actuellement encore l'objet de polémiques dont un savant contemporain, M. Novikoff, s'est fait l'écho récemment dans le *Bulletin de l'Association russe pour les recherches scientifiques*, vol. VI, Prague, 1937. Les travaux publiés dans ce *Bulletin* paraissent en plusieurs langues. Nous nous référerons à la version française pour l'article que nous avons actuellement en vue et qui a paru sous le titre : *Sur la question des rapports entre la forme et la fonction des organismes.*

L'auteur cite de très nombreux ouvrages sur le sujet et fait état de ses propres recherches, en particulier sur *L'homomorphie comme base méthodologique d'une morphologie comparée.*

Deux sortes d'influences peuvent agir sur des organes déjà existants et en déterminer la différenciation : l'influence du milieu ambiant et l'influence de l'activité même de l'organe [1].

La première de ces influences serait à éliminer, du moins comme *action directe* sur l'organe; elle n'agirait sur lui, en effet, que *par l'intermédiaire* de la fonction préalablement intéressée. Les formes nouvelles seraient dues « à l'exercice des organes, exercice provoqué par la volonté de l'animal et correspondant à un certain besoin », selon la pensée de Lamarck (p. 87). Mais les organes végétaux se modifient eux aussi, et c'est même en botanique qu'il est le plus facile d'étudier les changements de forme : la « volonté » du végétal n'y est évidemment pour rien. Le « besoin » d'un changement de forme n'est pas non plus suffisant pour agir sur l'organe et en provoquer la modification : « Nous ne pouvons pas, par exemple, résoudre la question : pourquoi les organes respiratoires des baleines ne sont pas adaptés au fonctionnement dans l'eau, ce qui serait de grande importance pour eux, tandis que la cavité branchiale, si typique pour les crustacés supérieurs, s'est transformée en cavité pulmonale chez le crabe terrestre *Birgus latro* » (p. 91). Si c'est le besoin qui a déterminé la modification chez le crabe, pourquoi n'a-t-il pas déterminé la même modification chez la baleine? Ce n'est pas le temps qui a fait défaut à ces cétacés pour parfaire leur adaptation aux exigences du milieu : les baleines remontent au moins au miocène.

Que le besoin qu'un animal a d'un organe ne soit pas la cause déterminante *prochaine* de l'apparition de cet organe, cela résulte assez clairement, nous semble-t-il, du fait qu'une fonction ne pouvant s'exercer sans organe, l'organe doit précéder la fonction, et par conséquent se former à un moment où il ne répondra encore à aucune exigence fonctionnelle *actuelle*. En d'autres termes, l'organe se prépare pour une fonction plus ou moins éloignée; cette fonction n'existant pas encore, l'organe ne répond, pour l'instant, à aucun besoin.

A ce sujet, Novikoff cite, d'après Dean, « un phénomène téléologique qui se manifeste au cours du développement de la capsule de l'œuf d'une Chimère vivipare japonaise. Cette capsule est sécrétée par les parois de l'oviducte pendant que celui-ci contient l'œuf, qui n'occupe qu'une place minime dans la capsule. Mais la forme et le volume de cette dernière correspondent tout à fait à l'embryon futur. La correspondance entre la forme de la capsule et celle de

1. La différenciation de l'organe est le résultat de la différenciation des cellules qui le constituent. C'est sur ces cellules que doivent agir les influences auxquelles on fait appel pour expliquer toutes les modifications des organes.

l'embryon est à un tel point complète, que la capsule possède déjà des pores sur la place des fentes branchiales de l'embryon » (p. 96).

On pourrait citer d'autres cas, par milliers, tout aussi démonstratifs, et sans aller les chercher si loin, ne serait-ce que la formation, chez l'embryon et le fœtus des mammifères, des organes de la respiration, organes qui seront complètement inutilisés pendant toute la durée de la gestation. Cette question se représentera d'ailleurs plus loin, au cours de notre exposé sur la différenciation anatomique et fonctionnelle de la cellule.

3° Les cas de différenciation anatomique ne répondent à aucune fonction.

Novikoff aborde aussi la question de l'indépendance entre la forme (ou les organes) et la fonction. « Dans la littérature contemporaine, écrit-il, nous rencontrons assez souvent la description des organes sans fonctionnement correspondant à leur forme » (p. 91). A l'encontre de tous les exemples qui pourraient être cités à l'appui de cette assertion, affirmons une fois de plus que, *normalement*, anatomie et physiologie sont intimement liées. On ne peut pas concevoir une différenciation anatomique de la cellule qui n'aurait pas pour terme — nous aimerions mieux dire pour raison d'être — sa différenciation physiologique.

Cette constatation, qui résulte de l'observation de faits innombrables, constitue évidemment une sérieuse difficulté pour ceux qui ne veulent admettre, à priori, comme agents de toutes les transformations que subit la cellule au cours de son développement, que les seules forces de la nature inanimée. Il est manifeste que toutes les modifications de structure et de morphologie cellulaires (lorsque du moins la cellule ne subit pas d'influence étrangère à son activité propre) ont pour but de préparer la cellule à être l'instrument, normalement adéquat, d'une fonction spéciale. Or, que telle cellule ait éventuellement tel rôle à jouer, cela ne relève d'aucune exigence physico-chimique, alors même qu'on admettrait, par impossible, que c'est à une exigence de cette nature qu'a répondu la différenciation anatomique. S'il était possible de distinguer deux instants dans la conception du plan — quel qu'en soit l'auteur — de la nature vivante, avant qu'elle n'existât, ce serait au premier de ces instants que correspondrait l'idée de la physiologie, et au second l'idée de l'anatomie mise au service de la physiologie.

Il est si incontestable que la physiologie commande l'anatomie, que les modalités de la fonction à remplir déterminent les modalités

de l'organe, que lorsque le Biologiste découvre dans un être vivant quelconque un organe jusque-là inconnu, il se pose instinctivement cette question : à quoi cet organe peut-il bien servir?... Et lorsqu'il se trouve en présence de quelqu'un de ces organes qualifiés *organes rudimentaires*, dont on ne perçoit pas l'utilité actuelle, il est invinciblement porté à le regarder comme un *organe témoin;* témoin d'un état antérieur où il avait un rôle à jouer : le rôle ayant cessé, l'organe désormais sans emploi serait entré en régression.

On a souvent cité comme exemple de rétrogradation d'organes en chômage le fait des yeux des animaux qui passent toute leur vie dans l'obscurité, yeux atrophiés par défaut d'exercice. Darwin a tiré de cette dégénérescence par *non usage* un argument en faveur de la mutabilité des espèces. La question ne nous intéresse ici qu'en raison du lien qui rattache le « physiologique » à l' « anatomique », et fait dépendre celui-ci de celui-là. Si l'argument, en tant qu'utilisé au bénéfice du transformisme, n'est pas sans reproche, il réclame aussi quelques précisions du point de vue où nous le considérons en ce moment.

S'il était vrai qu'un organe qui ne fonctionne plus — ou qui fonctionne moins — doit fatalement subir une régression anatomique, et cela en raison de sa constitution physico-chimique et des forces du même ordre admises comme étant les seules à régir tous les phénomènes de croissance et d'entretien qui la concernent, il paraît évident que tous les organes du même genre, qui seront mis comme lui en hypofonctionnement du fait qu'appartenant à des animaux du même habitat et se trouvant ainsi soumis aux mêmes conditions, devront présenter les mêmes phénomènes d'évolution régressive. Le déterminisme brutal des forces physico-chimiques ne permet pas de concevoir un autre comportement. Or, à côté d'animaux vivant dans les grands fonds marins où l'obscurité est complète (elle l'est à partir de 400 mètres de profondeur), animaux complètement aveugles en raison, dit-on, du *non usage* de leurs yeux, d'autres ont, au contraire, des yeux énormes. Le cas d'ailleurs n'est pas spécial aux animaux des grands fonds; des mammifères terrestres le présentent aussi : « la vie nocturne développe les yeux (*Tarsius*) ou au contraire les réduit (Chiroptères) [1] ».

La prétendue loi du *non usage* souffre donc des exceptions, qui sont d'ailleurs trop caractéristiques pour qu'on puisse les négliger. On ne peut pas davantage, pour se tirer d'un mauvais pas, se permettre

1. Edmond Perrier, *Traité de Zoologie*, Paris, Masson, 1932, p. 3514 (L'ouvrage a paru en fascicules à différentes époques; le dernier en date est de 1933).

de les exploiter en invoquant l'adage que « l'exception confirme la règle ». Les lois physiques sont rigides; elles ne souffrent aucune dérogation; les matérialistes font suffisamment état de cette inflexibilité quand il s'agit, pour eux, d'établir, par exemple, l'impossibilité du miracle. D'autre part, dire que si certains animaux des profondeurs aquatiques ont des yeux énormes, c'est afin de leur permettre de profiter « le mieux qu'ils peuvent de la lumière qu'ils produisent et que produisent d'autres animaux phosphorescents [1] », serait donner de ce fait une explication proprement *téléologique*. Or les mécanicistes sont les ennemis déclarés de la téléologie, en tant du moins qu'on la regarde comme une doctrine qui suppose la conception d'un plan et la subordination à l'exécution de ce plan de toutes causes physiques, chimiques, ou autres intéressées à sa réalisation. Cette explication est cependant la seule valable. La lumière des bas-fonds marins est tellement atténuée — quand elle existe — que les organes capables d'en capter les vibrations à peine perceptibles, et de les utiliser au maximum, peut-être en les amplifiant, prennent des proportions qu'on serait tenté de juger anormales. A ce développement inusité préside une activité différenciatrice qui s'exerce dans le but précis de munir l'animal des organes les mieux adaptés aux conditions du milieu. La faible intensité lumineuse qui aurait dû, d'après les prévisions darwiniennes, déterminer une atrophie organique, se trouve être la raison, la « cause finale » d'une hypertrophie considérable.

On pourrait dire, il est vrai : pourquoi existe-t-il, dans le même milieu, des animaux (crustacés, poissons) déshérités, qui, n'ayant pas bénéficié des judicieuses prévisions de la « cause finale », se trouvent plongés, de ce fait, dans une irrémédiable obscurité?... En répondant que nous n'en savons rien, nous ne serions pas en plus mauvaise posture que les mécanicistes. Pourquoi les forces physico-chimiques, si prévoyantes pour les animaux dont elles auraient amplifié les organes visuels, auraient-elles mis en si fâcheuse posture ceux que, dans les mêmes conditions, elles auraient rendus aveugles?

Mais la position téléologique n'est pas aussi désavantageuse qu'il pourrait peut-être paraître au premier abord.

En premier lieu, et afin, pour ainsi dire, de déblayer le terrain, nous ferons remarquer que l'explication par le *non usage* n'est qu'une hypothèse. En tout cas, elle n'explique certainement pas toutes les régressions qui surviennent dans des organes où, de par ailleurs,

1. Dr Singer. *Ouvrage cité*, p. 290.

aucune cause tératologique ne semble devoir être invoquée. Ainsi, chez presque tous les oiseaux adultes l'ovaire droit a disparu. L'oviducte du même côté est, lui aussi, complètement avorté, sauf chez quelques espèces où il n'est plus d'ailleurs représenté que par un simple rudiment. Évidemment, ces organes ne fonctionnent plus. Ont-ils fonctionné autrefois, et faut-il, pour expliquer leur disparition totale ou partielle, incriminer un ralentissement de leur activité fonctionnelle?... Qui pourrait l'affirmer?... Si le *non usage* était en cause, comment expliquer que ce non usage ait toujours porté, chez toutes les espèces, sur l'ovaire droit? D'autre part, cet ovaire existe chez l'oiseau à l'état embryonnaire. Est-ce parce que, à ce stade de l'évolution ontogénique cet organe n'a aucun emploi, qu'il disparaît? Mais l'ovaire gauche ne fonctionne pas davantage; pourquoi ne disparaît-il pas? Pourquoi d'ailleurs n'en est-il pas de même de tous les autres organes embryonnaires, et comment, enfin, se fait-il, qu'il puisse exister des adultes, puisqu'ils doivent tous passer par des états où le non usage est la règle pour la plupart de leurs organes? Ce que nous disons de presque tous les oiseaux, nous pourrions le dire aussi de certains poissons chez lesquels la femelle n'a qu'un ovaire. Un second a dû exister, puisqu'il y a deux oviductes, normaux tous les deux, comme chez *Scyllium*. Si c'est le non usage qui a fait disparaître un ovaire, pourquoi n'a-t-il pas atrophié l'oviducte correspondant?

En second lieu, la *finalité* n'est pas en défaut par le fait que la différenciation anatomo-physiologique n'est pas, dans toutes les espèces, la même pour les mêmes organes, lesquels extrêmement développés chez certaines, sont, chez d'autres, en pleine régression. Pour celles-ci, qu'on pourrait croire déshéritées, il y a des compromis de compensation qui rétablissent l'équilibre, et leur permettent de se tirer d'affaire dans la vie tout aussi bien que les autres. Citons comme un des exemples les plus frappants le *Nematocarcinus gracilipes*, chez qui la faiblesse de la vue est suppléée par une différenciation physiologique d'hypersensorialité tactile qui entraîne un développement extraordinaire des organes de palpation (Planche I, fig. 1)[1]. D'autres cas sont tout aussi remarquables, bien que la conformation extérieure des organes de suppléance ne présente pas des allures aussi surprenantes que chez *Nematocarcinus*. Ainsi, chez les *Chauves-souris* l'organe visuel existe et sans doute il fonctionne, mais il est peu développé. Par contre, certaines fonctions supplétives ont pris une importance considérable, capables, au besoin, de remplacer la vue. En

1. Voir à la fin du *Cahier*, après la *Table des matières*.

effet, « Spallanzani a prouvé que les Chauves-souris qu'on a rendues aveugles s'envolent en évitant tous les obstacles avec une adresse infinie, guidées surtout par l'exquise sensibilité de leurs ailes[1] ».

Ainsi, c'est la fonction qu'une cellule aura à remplir qui légitime sa différenciation anatomique et la dirige dans l'exécution de tous les détails qui, d'avance, la mettent en état de fonctionner normalement, le moment venu, et de s'adapter ou coapter, au besoin, à d'autres éléments, en vue d'un résultat d'ensemble à la conception et à la réalisation duquel une *idée* a nécessairement présidé.

Ce qui déroute nos façons habituelles de voir, c'est que, ici, l'instrument se fabrique lui-même. Ceux que l'homme utilise, c'est lui qui les a façonnés; la connaissance de l'usage auquel ils étaient destinés l'a guidé dans leur fabrication. La cellule qui, elle, se transforme pour devenir un instrument adapté à une fonction future, n'a aucune connaissance de cette fonction, et sa volonté n'est pour rien, puisque n'existant pas, dans le travail de fabrication qui la prépare à jouer un rôle bien précis dans un organisme qui n'est pas encore formé. Par quoi l'intelligence qui prévoit et la volonté qui décide et dirige, dans l'industrie humaine, sont-elles remplacées dans l'industrie cellulaire?... Nous entendons une certaine Science nous dire — et nous voulons croire qu'elle le pense — que des forces physico-chimiques suffisent à cette œuvre. Serait-il bien téméraire de penser que la solution physico-chimique ne s'impose à certains antivitalistes que par la peur, inconsciente peut-être, de se trouver face à face avec une Intelligence et une Volonté dont, avant toute discussion, ils ont écarté jusqu'à la possibilité d'existence?

Quoi qu'il en soit, examinons les faits; quelques-uns seulement parmi ceux, innombrables, que nous offrent et le règne animal et le règne végétal.

4° Différenciation anatomique de la cellule.

Deux ordres de phénomènes mettent en évidence les caractères de la différenciation cellulaire : d'abord, la comparaison entre l'état embryonnaire de la cellule et son état adulte, puis la comparaison, chez un même sujet, entre les cellules de ses différents tissus, cellules qui, les mêmes à l'origine puisque dérivant toutes de la même cellule-œuf, ont évolué en sens divers.

Cette première observation vise chaque cellule considérée en elle-même, c'est-à-dire en faisant abstraction des rapports qu'elle

1. C. Claus, *Traité de Zoologie*. Trad. Moquin-Tandon, Paris, Savy, 1884, p. 1515.

peut avoir avec d'autres cellules du même organisme ou d'un organisme étranger. En la considérant de ce dernier point de vue elle manifeste des caractères de précoaptation particulièrement intéressants pour mettre en lumière l'existence de ce *plan* qui n'avait pas échappé à Armand Gauthier (d'autres d'ailleurs l'avaient signalé avant lui) et dont la réalisation harmonise dans une magnifique entr'aide les parties si diverses de l'organisme adulte animal ou végétal.

1. — Différenciation de la cellule considérée dans ses rapports avec l'organisme entier.

Ce mode de différenciation nous fait assister à des phénomènes de préadaptation dans lesquels il n'est pas possible de ne pas reconnaître la réalisation d'une *idée.* Cette réalisation répond à des exigences inconnues des cellules qui cependant travaillent à les satisfaire. Chacune d'elles se livre à cette œuvre pour son propre compte, sans souci de ses voisines, et il se trouve que le résultat de son activité évolutive individuelle, associé à celui de l'activité évolutive de certaines autres qui se différencient dans le même sens, tourne au profit de l'être tout entier, dont l'existence même peut, dans certains cas, dépendre de ces circonstances favorables.

1) Exemple de l'appareil de délivrance chez les insectes

Les exemples sont nombreux. Arrêtons-nous sur celui des *appareils de délivrance* des insectes. Examinons celui de l'un d'entre eux que tout le monde connaît sous le nom de *perce-oreilles : Forficula auricularia.*

a. — Description de l'appareil de délivrance.

On voit se former de bonne heure, dans la région céphalique de la larve, un petit organe frontal, légèrement proéminent, à pointe coupante. Cet organe est appelé corne de délivrance, parce qu'il sera utilisé par l'animal pour sortir de sa prison lorsque sa métamorphose sera achevée. Par des mouvements de la tête dans le plan vertical, il fendra, avec la pointe de la corne, l'enveloppe qui l'enserre et passera, en l'élargissant, par la brèche ainsi pratiquée. Or au moment où les cellules, pour réaliser cet appareil de libération, se multiplient, se disposent et se transforment, et seulement dans la région céphalique, et dans cette région uniquement au niveau frontal, l'animal n'a encore aucun besoin d'un outil de ce genre; il ne lui sera nécessaire que plus tard, mais *il faut* qu'il soit prêt

quand le moment viendra, pour la larve, de se libérer. Ce *il faut* traduit une exigence dont il est impossible d'indiquer l'équivalent physico-chimique; il n'a sa représentation dans aucune des réactions qui aboutissent à la constitution de la corne de délivrance; s'il était de nature physico-chimique, le principe de la conservation de l'énergie serait donc pris en flagrant délit d'inexactitude. D'autre part, comme nous venons de le relever, seules quelques cellules subissent la différenciation spéciale qui les transformera en un instrument tranchant, parmi toutes celles, de même origine ectodermique qui les entourent et qui se trouvent dans les mêmes conditions qu'elles. De ce phénomène non plus aucune équivalence n'apparaît qui puisse en rendre raison si on veut ne faire appel qu'à des réactions de physico-chimie pour l'expliquer.



Fig. 3. — Larve de *Forficula auricularia*. Ch. Chorion. C. Corne de délivrance.

Au lieu de la petite épine rigide à quoi se réduit, chez *Forficula auricularia*, l'appareil de rupture, un instrument beaucoup plus développé peut se différencier, telle la grande lame dentée signalée par Cappe de Baillon dans sa Thèse de doctorat sur la « Contribution anatomique et physiologique à l'étude de la reproduction chez les Locustiens. La ponte et l'éclosion », p. 201. Le procédé de délivrance est d'ailleurs fondamentalement le même : « La tête....., basculant en avant, fait glisser la lame de rupture contre le chorion; c'est à ce moment qu'a lieu la première déchirure ».

b. — *Explication de la formation de l'appareil de délivrance.*

Le problème qui se pose ici, à propos des appareils de délivrance des larves d'insectes, est un problème beaucoup plus général. A quoi tient le fait que dans des conditions identiques de milieu, des cellules qui avaient jusqu'à un certain moment évolué de même — faisant d'ailleurs partie les unes et les autres du même feuillet embryonnaire — changent subitement d'orientation pour se différencier en sens divers?

α) Influence de l'hérédité.

Gley en a tenté une explication que nous ne voulons pas paraître ignorer. Si, dans un même individu, toutes les cellules, bien qu'ayant

même origine lointaine, ne se ressemblent pas, la raison en serait dans l'hérédité, « cause *extrinsèque* des différences qui existent entre les cellules comme entre les espèces »[1]. Gley est un savant trop averti pour ne pas se rendre compte que sa solution, si elle en restait là, ne ferait que reculer la difficulté. Il s'est donc posé une question ultérieure : « Quelle est la cause de l'hérédité elle-même? » Et à cette question il n'a pu que répondre : « La cause intime de la différenciation et de l'hérédité a fait l'objet de plusieurs grandes théories; mais en dépit des théories elle nous échappe toujours; ce qui est sûr, c'est la différenciation elle-même ». Si peu satisfaisante que soit cette explication, il faut peut-être savoir s'en contenter.

Lors même, d'ailleurs, qu'une théorie de la transmission des caractères héréditaires pourrait être formulée, expliquant les phénomènes immédiats de l'hérédité, elle ne ferait évidemment que déplacer, sans la résoudre, la difficulté fondamentale. Si, en effet, d'une cellule-œuf unique dérivent, au cours de l'évolution ontogénique, des éléments que la différenciation rend si divers, c'est apparemment que cette cellule-œuf est le produit de deux parents (nous envisageons le cas le plus général) chez qui ces cellules différenciées font partie essentielle de l'organisme de l'espèce; ils les ont trouvées dans le trésor héréditaire de leur lignée, et ils les passent fidèlement — et d'ailleurs inévitablement — à ceux, à qui, à leur tour, ils transmettent la vie. Mais comment cette différenciation cellulaire est-elle entrée dans le trésor héréditaire? Ce problème, Gley ne pouvait pas ne pas l'aborder, et ne pas remonter jusqu'aux causes mêmes de la différenciation devenue caractère transmissible. « Quelles sont ces causes? » se demande-t-il, et il répond : « il faut sans doute les voir dans des influences du milieu sur les cellules et dans l'application à celles-ci de divers irritants; ce sont donc des causes *extrinsèques* de différenciation, causes mécaniques ou physiques ».

Nous pensons que Gley lui-même doit être assez sceptique sur la valeur d'une pareille explication.

6) *Influence des causes extrinsèques.*

D'abord, il est inadmissible de faire appel à des influences du milieu lorsque les cellules qui se différencient en sens divers évoluent dans un milieu qui est absolument le même pour toutes physiquement, chimiquement, mécaniquement. Dans ce cas, en effet, qui est précisément celui dont il s'agit dans l'exemple de la lame de

1. Gley, *Ouvrage cité*, p. 117.

délivrance, les mêmes influences, irritantes ou autres, agissant sur toutes les cellules, celles-ci devraient, toutes, évoluer de même.

En second lieu, les « causes *extrinsèques* de différenciation » invoquées par Gley sont des causes incapables de prévoir et d'adapter. Or la prévision et l'adaptation, celle-ci supposant celle-là, caractérisent non seulement le cas que nous avons en vue, mais un grand nombre d'autres, la production de la corne de délivrance n'étant qu'un exemple entre mille. Remettre à l'influence aveugle « de divers irritants » le soin de faire pousser au moment voulu, et là où il le faut, tel ou tel organe, ou partie d'organe, nécessaire au développement normal, ou à l'existence même de l'individu, revient à charger le hasard de la conduite de l'opération. Or le hasard n'a jamais été, et ne pourra jamais être facteur de régulation et d'harmonisation. Cuénot lui a dit son fait, à ce hasard fourvoyé en Biologie. L'éminent Professeur de la Faculté des Sciences de Nancy, délégué par l'Académie des Sciences, a prononcé, en octobre 1935, à la séance publique annuelle de l'Institut de France, devant l'élite intellectuelle et scientifique de nos cinq grandes Académies nationales, un discours dans lequel, parlant de certains faits que nous aurons à signaler tantôt, il a remarqué que deux hypothèses seulement pouvaient les expliquer, et entre lesquelles il fallait nécessairement choisir : « d'un côté le hasard, qui, en biologie, veut dire strictement absence de but ; de l'autre, l'exécution d'un plan »[1]. Le fait biologique commenté par Cuénot, comme celui dont nous parlons en ce moment, plaide pour l'exécution d'un plan, et par conséquent échappe au hasard de l'action de causes mécaniques et physiques.

Enfin, si la corne de délivrance des insectes devait son existence à des influences de hasard, il semble tout au moins hors de doute que cet organe n'aurait pas apparu subitement, et dans toutes les espèces qui en sont pourvues, juste à l'endroit voulu pour son utilisation normale. L'adaptation n'aurait pas eu lieu d'emblée; il y aurait eu une période de tâtonnement. Or les hésitations, ici, ne sont pas concevables : l'organe libérateur a dû exister du premier coup avec les caractéristiques essentielles qui conditionnent son fonctionnement, sinon toutes les larves auraient péri dans leur chorion, et c'en serait fait depuis longtemps de toutes les espèces qui comportent ce stade dans leur évolution.

Que l'appareil libérateur ne se soit pas développé accidentellement et comme à l'aveugle, une preuve supplémentaire en est dans le fait qu'il disparaît dès que sa présence n'est plus d'aucune utilité

1. Nous citons d'après le journal *Le Temps* du samedi 26 octobre 1935 : *L'invention en Biologie.*

pour la larve : il n'était manifestement là qu'en vue d'une fonction temporaire déterminée pour laquelle seule il était préparé. L. Félix Henneguy en a fait la remarque à propos de la lame de délivrance, ou *ruptor ovi*, que porte sur le sommet de la tête la larve de la Puce du Chat (*Pulex felis*) : « Lorsque l'animal subit sa première mue, il se débarrasse de cet appareil dont il ne reste aucun vestige : c'est donc un organe transitoire qui sert exclusivement à la jeune larve pour briser le chorion de l'œuf »[1]. Il est à remarquer aussi, ce qui accentue encore le caractère de prévision, que « la forme de l'appendice frontal est différente suivant les espèces... et peut servir à les caractériser »[2]. En d'autres termes, la forme de l'instrument varie suivant les conditions dans lesquelles il sera appelé à travailler; il s'adapte à ces conditions, adaptation qui ne saurait relever d'un simple effet du hasard dû à la rencontre fortuite de forces mécaniques ou physiques.

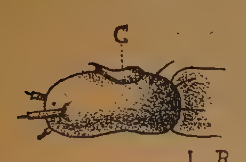


FIG. 4. — *c.* : Lame de délivrance de *Pulex felis*, d'après KÜNKEL d'HERCULAIS.

Dans le règne animal ce ne sont pas seulement les insectes qui nous offrent des exemples d'appareils destinés à briser la résistance de l'œuf. Rappelons seulement le dispositif qui permet au poussin arrivé à éclosion, de rompre, sa coquille : la petite protubérance cornée dont son bec est muni et qui disparaîtra, une fois rempli son rôle libérateur.

Si nous voulions faire ici de la différenciation comparée, nous pourrions rapprocher des dispositifs de délivrance du règne animal les mécanismes d'éclatement qui, chez les végétaux, assurent la déhiscence des réceptacles séminaux : sacs polliniques, sporanges, etc., et permettent la libération des cellules reproductrices qu'ils renferment. Les mêmes constatations que celles que nous avons faites chez les animaux nous imposeraient les mêmes interprétations finalistes de la prévision au service de l'exécution d'un plan. A ceux qui se refuseraient à admettre cette interprétation pour la raison, franchement avouée ou sous-entendue, qu'elle obligerait à faire appel à l'intervention d'un être intelligent distinct de la cellule qui se différencie, resterait la ressource « particulièrement commode au point de vue de l'enseignement », dit Cuénot, et qui consiste à user « de prudentes formules, comme dans les phrases suivantes : tout se passe comme si », etc. De ces « tout se passe comme si », ou expressions équivalentes, on ferait un volume, à l'usage des timorés.

1. L. F. HENNEGUY, *Les Insectes*. Paris, Masson, 1904, p. 494.
2. p. 495.

2) Autres exemples.

a. — *Différenciation dès la première segmentation de l'œuf.*

La différenciation cellulaire n'apparaît pas, dans tous les cas, aussi nettement que dans celui des appareils de délivrance, avec son caractère de prévision. Mais, que certaines cellules, par exemple, se transforment pour devenir des éléments adaptés à la fonction de transmission de la vie (cellules reproductrices), alors que d'autres, issues du même germe initial, se consacrent à la seule conservation de l'individu sans concourir, si ce n'est de façon indirecte, à sa propagation (cellules somatiques)[1], il y a bien là aussi une *intention* qui ne saurait relever à aucun titre des activités purement physico-chimiques. Il ne servirait de rien, ici non plus, de reculer le problème et de prétendre que cette orientation vers la lignée cellulaire reproductrice ou vers la lignée cellulaire somatique, fait son apparition dès la première segmentation de la cellule-œuf, comme on a cru l'observer, par exemple, dans les deux premiers blastomères de l'œuf de l'*Ascaris megalocephala* univalens (ver intestinal du Cheval et du Bœuf), et que cette orientation est dans l'hérédité même de l'animal. La question peut, en effet, être prise de plus loin encore, et nous devons de nouveau demander qu'on nous indique sous quelle influence l'activité différenciatrice est entrée dans l'hérédité. Répondre par l'action sur une première cellule-œuf ancestrale, de forces irritantes mécaniques ou physiques, extrinsèques à la cellule, comporte un apriorisme qui pourrait être un peu brutalement formulé en ces termes : ce sont certainement des forces physiques, chimiques, ou mécaniques qui sont intervenues, puisqu'il n'en existe pas d'autres. C'est précisément là la question.

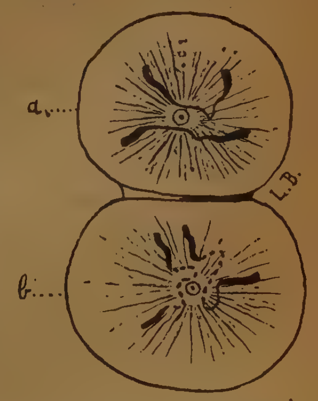


Fig. 5. — Première segmentation de l'œuf d'Ascaris. *a*, cellule-souche de la lignée reproductrice; *b*, cellule-souche de la lignée somatique. D'après Boveri.

1. Cellules somatiques : celles d'où dérivent tous les tissus du corps, sauf le tissu reproducteur; président à la vie de l'individu. — Cellules reproductrices : celles qui transmettent la vie; président à la conservation de l'espèce.

b. — Différenciation dans les follicules hermaphrodites.

Un cas qui nous paraît de nature à faire ressortir avec une particulière évidence l'impossibilité d'expliquer certaines différenciations cellulaires par une intervention de causes extrinsèques mécaniques ou physiques, est celui de l'évolution des cellules reproductrices chez certains hermaphrodites. Nous voulons parler de ceux chez qui, comme chez la Limace, l'Escargot, etc., l'hermaphrodisme est poussé à l'extrême, puisque non seulement l'animal est hermaphrodite, mais la glande sexuelle l'est elle-même, et, dans cette glande, chacun des éléments constituants, ou follicules, l'est aussi.

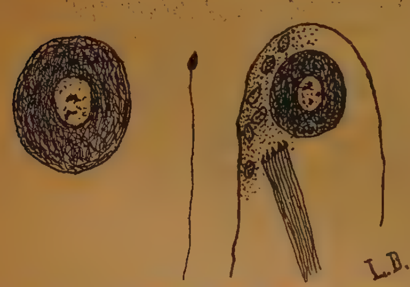


Fig. 6. — Cellules reproductrices chez la *Limace* (voir Planche I, fig. 2).

Dans la figure 6, nous avons représenté, à gauche, une cellule relativement volumineuse; c'est une cellule femelle, ou ovule; au centre une cellule mâle, ou spermie, dont la tête représente le noyau et le long filament caudal, le cytoplasme; à droite, un follicule. Ce follicule est hermaphrodite. Certaines de ses cellules donnent naissance à des cellules mâles, et certaines autres à des cellules femelles, à proximité des premières. Si des forces extrinsèques physiques ou mécaniques agissent sur les cellules folliculaires pour en diriger l'évolution, pourquoi toutes celles-ci ne se différencient-elles pas de même?... Ou bien faudra-t-il imaginer qu'il y a des forces physiques ou mécaniques préposées à la différenciation mâle et d'autres à la différenciation femelle? Ou encore devra-t-on supposer que certaines cellules du follicule ont une prédisposition à évoluer en spermies, tandis que d'autres, placées d'ailleurs sous les mêmes influences physico-mécaniques que les premières, sont prédisposées à se différencier en ovules? Et alors, d'où leur vient cette prédisposition?

Les mêmes observations pourraient être faites au sujet de la différenciation des cellules de la rétine, qui donnent des éléments si différents, bien qu'ayant toutes même origine et étant soumises aux mêmes influences extrinsèques. Nous allons le voir en traitant la question suivante.

2. — Différenciation de la cellule considérée dans ses rapports avec d'autres, dans le même organisme.

Nous venons de considérer la différenciation dans la cellule prise *isolément*. Sans doute, chez les pluricellulaires, chaque cellule fait partie de l'ensemble, et il est indéniable que son évolution est dirigée de manière à la mettre en état de concourir pour sa part à la vie normale de cet ensemble. De ce point de vue la cellule n'est pas un élément isolé. Il ne l'est ni anatomiquement ni physiologiquement. Mais les rapports qu'elle contracte avec l'organisme total nous frappent moins que ceux qui s'établissent souvent entre elles et certaines autres cellules du même organisme. C'est par opposition à ces rapports plus immédiats de différenciation intercellulaire que nous avons pu la regarder, dans les exemples que nous venons de citer, comme évoluant pour ainsi dire pour son propre compte, ces rapports plus immédiats, ou n'existant pas, ou ne nous étant pas connus. Quand ils existent, et nous allons en rappeler des exemples, ils réalisent une différenciation d'*entr'aide* qui fait mieux ressortir encore le dessein téléologique qui préside à l'évolution des caractères essentiels du vivant.

1) Différenciation de l'appareil visuel.

La structure de l'œil nous fournit un exemple intéressant de cette entr'aide, résultat d'une remarquable *précoaptation*.

On sait que la paroi du globe oculaire est formée de trois membranes : la sclérotique, externe; la choroïde, médiane; la rétine, interne. La rétine est accolée à la face interne de la choroïde. Cette face interne a d'ailleurs la même origine histologique que la rétine, c'est par erreur qu'elle a été attribuée à la choroïde : elle est la couche externe de la rétine. Le développement embryogénique de cet organe ne laisse aucun doute à cet égard. Les deux membranes dérivent, l'une et l'autre, de la paroi du cerveau moyen de l'embryon. La figure 7 schématise les premiers stades de leur développement. En *e.*(I), ectoderme, qui recouvre le système nerveux central primitif (cerveau et moelle épinière). En *c.*, cet ectoderme s'épaissit pour donner le cristallin, qui se détachera peu à peu de la lame ectodermique pour devenir complètement indépendant (III et IV). Au-dessous de l'ectoderme, le bourgeon formé par une évagination du cerveau moyen, reste en communication avec ce cerveau par un pédoncule, *p.* (I). Un épaississement du bourgeon se dessine en face de l'ébauche cristallinienne

épaississement qui est destiné à donner la rétine *r.* (I, II, III, IV). En arrière de la rétine et en continuité avec elle, la membrane *e. p.* (I) ne s'épaissira guère. Dans la suite du développement elle se rapprochera de plus en plus de la rétine (IV); elle finira par s'accoler à elle, et nous verrons même que ses cellules, par leur prolongement interne, compénètreront la couche la plus externe de la rétine. En réalité, *r.* et *e. p.* contribuent à former la rétine; *r.* en est le feuillet antérieur et *e. p.* le feuillet postérieur[1]. Le feuillet antérieur *r.* donnera des cellules à cônes, les cellules à bâtonnet, les neurones moyens, les cellules ganglionnaires, les grandes et les petites horizontales, les spongioblastes, les fibres conjonctives de Müller. Le feuillet postérieur *e. p.* (faussement attribué à la choroïde), joue le rôle d'épithélium pigmentaire. Ce sont les cellules de cet épithélium qui se sont différenciées en vue de venir physiologiquement en aide aux cellules à cône et à bâtonnet, cellules sœurs, puisque issues les unes et les autres de la paroi du cerveau moyen de l'embryon. Elles se sont, à cette fin, chargées de pigments, qu'elles ont elles-mêmes élaborés. Ce sont de petites granulations noires (granulations mélaniques), dont la situation dans la cellule est variable suivant l'éclairement de la rétine. Par celle de leur face qui regarde les cônes et bâtonnets, les cellules en question se prolongent « en filaments ou en franges plus ou moins pigmentées qui s'engagent entre les cônes et les bâtonnets, de manière que ceux-ci plongent en quelque sorte dans la substance de la cellule moulée sur eux... Angelucci (1877-78), Kühne (1879) et Ranvier (1882) nous ont fait connaître une intéressante

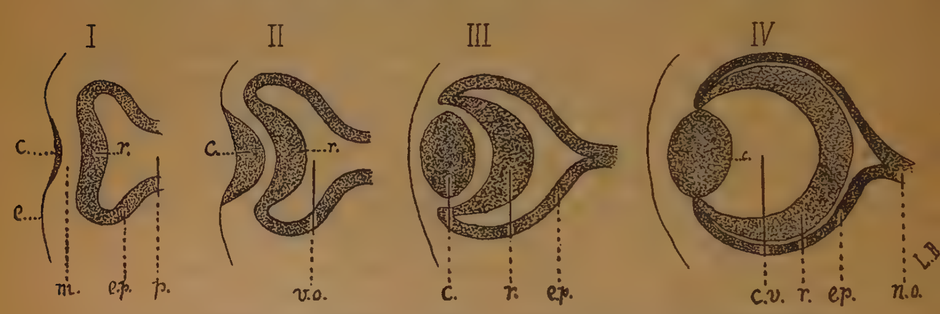


Fig. 7. — Schéma des premiers stades du développement du globe oculaire. *c.* : cristallin; *c. v.* : corps vitré; *e.* : ectoderme; *e. p.* : futur épithélium pigmentaire; *m.* : mésoderme; *n. o.* : nerf optique; *p.* : pédoncule optique (futur nerf optique); *r.* : rétine; *v. o.* : vésicule optique.

1. *v. o.* : vésicule optique destinée à disparaître par accolement des deux feuillets de la rétine.

propriété des cellules pigmentées de la rétine : les grains de pigments se déplacent suivant l'intensité de la lumière. Sous l'influence d'une lumière vive, les grains s'avancent entre les cônes et les bâtonnets jusqu'au voisinage de la limitante externe [1], tandis que dans l'obscu-

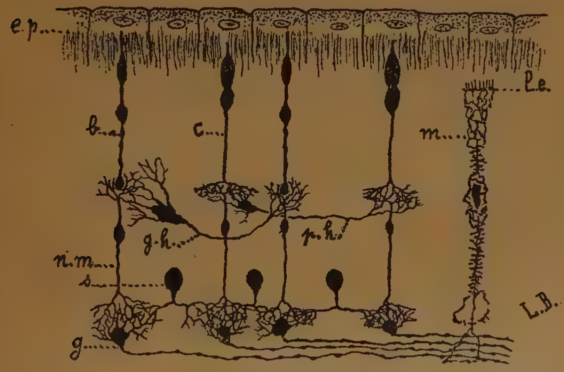


FIG. 8. — *e. p.* : épithélium pigmentaire; *b.* : cellule à bâtonnet; *c.* : cellule à cône; *m.* : fibre de Müller; *g. h.* : grande horizontale; *p. h.* : petite horizontale; *s.* : spongioblaste; *g.* : cellule ganglionnaire; *l. e.* : limitante externe. — L'article externe des cellules à cône et à bâtonnet est engagé dans les cellules de l'épithélium *e. p.* (Imité de divers auteurs).

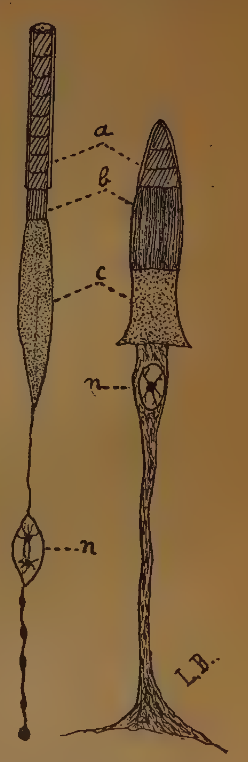


FIG. 9. — Cellule à bâtonnet à gauche; cellule à cône à droite. — *a.* : article externe; *b.* : article moyen; *c.* : article interne; *n.* : noyau.

rité ils se retirent au contraire dans le corps de la cellule. La surface des cônes et des bâtonnets découverte, c'est-à-dire impressionnable par les rayons visuels, sera d'autant plus considérable que l'intensité de la lumière sera plus faible » [2].

Tourneux pense, d'après Kühne, que la migration des grains de pigment serait due à des courants se produisant à l'intérieur des prolongements des cellules qui s'immiscent entre les cônes et les bâtonnets. D'autres auteurs croient plutôt à une rétraction des prolongements qui portent les granulations pigmentaires, quand l'intensité lumineuse décroît, et à leur allongement lorsque cette intensité augmente [3].

Il nous importe peu. L'intérêt, pour nous, réside dans le fait que

1. C'est-à-dire jusqu'au sommet de la fibre de Müller; ils recouvrent donc entièrement, et au delà, le segment externe des cellules visuelles.
2. F. TOURNEUX, *Précis d'Histologie humaine*. Paris, Doin, 1911, p. 810.
3. E. GLEY. *Ouvrage cité*, p. 902-903.

le phénomène, de quelque façon qu'il se produise, « est incontestablement un phénomène de régulation et d'adaptation »[1]. Il réside encore dans le fait tout aussi incontestable que la cellule pigmentaire s'est différenciée *en vue* de régulariser la fonction des cellules à cône et à bâtonnet. On ne peut, en effet, assigner aucune autre fin à cette différenciation si spéciale. Le doute élevé à ce sujet par P. Bouin sur « la véritable signification fonctionnelle de l'épithélium pigmenté »[2] chez les mammifères, ne saurait infirmer les observations faites chez les vertébrés inférieurs et dont l'interprétation dans le sens que nous avons dit est admise par de nombreux savants dont l'opinion ne relève sûrement d'aucun préjugé vitaliste. Par contre, que la théorie vitaliste y trouve sa confirmation, cela ne saurait être suffisant pour en suspecter le bien-fondé.

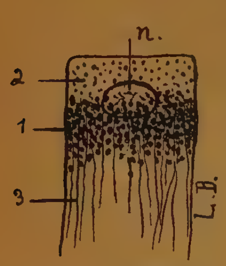


Fig. 10. — Cellule pigmentaire. — 1, partie fortement pigmentée. — 2, partie dépourvue des pigments qui s'enfoncent entre les segments externes des cônes et des bâtonnets. — *n.*, noyau de la cellule. (Imité de Tourneux, *Hist.*, p. 810).

Il faut noter d'autre part que les cellules du feuillet externe de la rétine procèdent à leur différenciation alors que l'organe visuel étant encore à l'état embryonnaire le *besoin actuel* de cette différenciation n'existe pas. C'est pour se mettre à même de répondre à un *besoin futur* que ces cellules travaillent. Ce n'est pas une simple coaptation d'éléments qui est ici en cause, ce qui serait déjà inexplicable du point de vue physico-chimique, mais une *précoaptation*, ce qui comporte une idée de *prévision*.

2) Différenciation des appareils de fixation.

De cette précoaptation, Cuénot en a développé, devant l'Institut de France, un exemple dont il avait déjà parlé dans son livre sur *L'Adaptation*, l'exemple du bouton-pression, qui se rencontre chez divers animaux (Céphalopodes décapodes : Seiche, Calmar, etc.), et dont la fonction est de « réunir des parties qui ne doivent pas se séparer ou qui ne doivent le faire qu'à la volonté de l'animal »[3].

« Ces petits organes, de minime utilité, si peu importants qu'on

1. J.-P Morat et M. Doyon. *Traité de Physiologie*. Paris, Masson, 1918; t. V, p. 227.
2. A. Prenant, P. Bouin, L. Maillard. *Traité d'Histologie*. Paris, Masson, 1911, t. II, p. 676.
3. L. Cuénot. *L'Adaptation*. Paris, Doin, 1925, p. 271. Les autres citations sont tirées du discours de Cuénot à la séance publique de l'Institut de France, 1935.

les mentionne à peine dans les descriptions, soulèvent cependant l'un des problèmes les plus graves de la biologie et de la philosophie.

« Comment donc a été créé le bouton-pression des gants? Il y a eu certainement au début, chez l'inventeur, une *idée*, représentation schématique d'un but à atteindre, d'une fonction à remplir; puis il a réalisé l'idée en employant les matériaux convenables. L'objet fabriqué implique une cause spirituelle, psychique, extérieure à lui, dans laquelle nous reconnaissons une intention et une invention; et puis, il a sa matière constitutive, qui a été modelée par l'artisan conformément au plan.

« Mais chez les ancêtres des crabes, des hydrocorises et des céphalopodes, comment le bouton-pression a-t-il pu se développer? Il n'y a que deux hypothèses possibles :

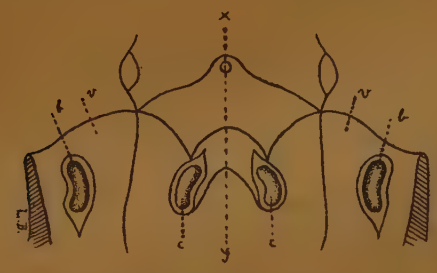


Fig. 11. — *Sepia savignyana*. La paroi ventrale est supposée fendue suivant la ligne x, y. Les deux volets v étant rabattus l'un à droite, l'autre à gauche, on distingue, dans la cavité palléale ainsi ouverte, deux boutons cartilagineux b, et deux boutonnières c, dans lesquelles les boutons s'engagent pour fixer le manteau (figure schématique).

« 1° Il est apparu sur le corps, par une variation de hasard, un mamelon et une cavité, et il s'est trouvé que, par hasard, ces deux accidents se sont formés en face l'un de l'autre, qu'ils étaient de dimensions comparables, de sorte que leur réunion fortuite a constitué un appareil de fermeture dont l'animal, inconsciemment, a tiré parti; il aurait pu s'en passer, puisque antérieurement à la variation il ne le possédait pas; mais, l'organe réalisant une commodité, il en a usé. Il est possible du reste que plus tard, par suite d'un changement dans les mœurs ou la physiologie, l'appareil nouveau soit devenu nécessaire.

« 2° Le bouton-pression a été une *invention* répondant à un besoin organique plus ou moins réel, et s'est développé dans le but *exprès* de satisfaire celui-ci. Comme l'outil humain, il a une cause psychique, il a sa constitution matérielle, il remplit une fonction ».

Cette dernière hypothèse est celle qui s'impose comme la seule

explication possible. On n'échappe pas, en effet, à la conviction du « fait exprès »; or la première hypothèse est celle du hasard, et le hasard ne fait rien « exprès ». De plus, cette hypothèse du hasard fait intervenir l'explication transformiste darwinienne; or, sans avoir à discuter ici cette théorie dans son fond, nous pouvons bien souligner avec Cuénot que « l'explication darwinienne, tentative admirable pour expliquer ce qui paraît intentionnel chez l'être vivant sans faire intervenir aucun facteur psychique ou occulte, ne peut nous être ici d'aucun secours; basée sur le jeu inéluctable de la variation sans dessein et de la mort sélective, elle ne touche pas au problème capital de l'invention; le darwinisme n'est que du

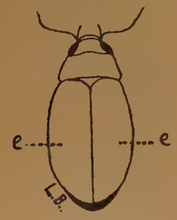


Fig. 12. *Dytiscus marginalis; l.* : élytres fermés.

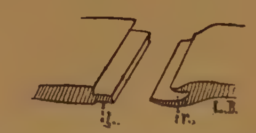


Fig. 13. — Coupe schématique des élytres du *Dytiscus marginalis. l.* : languette; *r.* : rainure. (Voir Planche I, fig. 3).

hasard trié. On sait du reste que ce triage n'élimine que le pire et n'a aucune effet constructif ».

Devant ses pairs de l'Institut de France Cuénot a encore fait état de deux autres dispositifs — ceux-ci pris chez les insectes — dont la différenciation s'est opérée, comme pour le bouton-pression, dans le but exprès de répondre à un besoin déterminé, et par suite n'a pu être abandonnée aux solutions de hasard de forces aveugles.

Un de ces dispositifs rappelle le précédent : il consiste en une languette qui s'engage dans une rainure et solidarise, chez les coléoptères, les deux élytres dont il assure le contact étroit lorsqu'ils se ferment sur le dos de l'animal. Languette et rainure se sont, cela ne fait aucun doute, différenciées en vue l'une de l'autre. Ici encore, faire appel à des mutations darwiniennes ou autres pour expliquer cette précoaptation mutuelle du bord des deux élytres, c'est la faire dépendre du hasard et de l'aventure, ce qui est en flagrante contradiction avec le plan préconçu qui a présidé à son exécution.

3) Différenciation des appareils de défense.

L'autre dispositif invoqué par Cuénot est celui de l'excavation des pattes antérieures des phasmes (insectes orthoptères). Ces pattes ne sont pas coaptées entre elles, mais elles sont, l'une et l'autre, coaptées à la tête de l'animal. Lorsqu'elles se rabattent en avant contre le corps, les deux encoches qui se trouvent sur la face interne de chacun des fémurs délimitent une loge où la tête se trouve automatiquement encastrée. Tout semble s'être passé comme si les fémurs, à un moment où chez l'embryon leurs léguments étaient encore mous, avaient subi une dépression au contact de la tête qu'ils auraient ainsi exactement moulée. Cuénot lui-même, avait envisagé cette hypothèse, qui d'ailleurs pour lui n'aurait pas dû en être une, car il s'agit d'un fait dont l'observation ne comporte pas de difficulté spéciale. Quoi qu'il en soit, dans une note à l'Académie des sciences il s'exprimait ainsi : « Chez le seul phasme que j'ai pu étudier (*Carausius morosus*), il *ne semble pas* que la courbure fémorale existe chez l'embryon, examiné peu de temps avant l'éclosion; il faut donc qu'elle se forme durant l'éclosion elle-même. Au début de celle-ci, le corps, courbé en arc, fait saillie en dehors de la coque, où restent engagées les antennes, les pattes et les deux extrémités du corps de l'animal; puis la région céphalique se dégage en entraînant les antennes. A ce moment, la tête, en dessous des yeux, est coincée entre les fémurs antérieurs, qui *paraissent* s'appliquer très fortement sur elle; il est *probable* que c'est à ce moment que se fait le moulage des fémurs, alors extrêmement mous, sur la tête plus résistante »[1].



Fig. 14. — Schéma d'un phasmidé montrant en *e*. l'encoche du fémur. (Voir planche I, fig. 4, 5, 6.)

C'est nous qui venons de souligner : *ne semblent pas*, *paraissent*, *probable*. Autant de points d'interrogation fort prudents, dont une observation plus précise devait montrer le bien-fondé, car six années plus tard, Cuénot, traitant le même sujet, écrivait, à propos du même *Carausius morosus :* « La coaptation est préparée déjà chez l'embryon; celui-ci, comprimé dans sa coque, est fortement courbé en arc; les trois paires de pattes, plusieurs fois repliées sur elles-mêmes, sont rabattues sous le ventre, ainsi que les antennes, de

1. *La coaptation des fémurs antérieurs et de la tête chez les phasmes.* Compte rendu de la séance du 10 novembre 1919 de l'Académie des Sciences, p. 838.

telle sorte, comme l'avait déjà vu Stockard[1], qu'il n'y a aucun contact possible entre la tête et les fémurs antérieurs, aucune possibilité d'un moulage de ceux-ci sur celle-là. En disséquant un embryon d'une grosse espèce, après avoir enlevé la membrane qui l'emmaillotte, on se rend compte que les fémurs antérieurs, encore engainés dans la membrane amniotique, sont un peu méplats et légèrement amincis à leur base; mais la coaptation est encore peu visible parce que le tégument larvaire est finement plissé. Au moment de l'éclosion, après exuviation de la membrane, il se fait un défroncement général de tous les téguments qui leur donne leur dimension vraie et montre leurs accidents de surface; alors la coaptation apparaît en vraie grandeur, et on voit le petit Phasme, à peine éclos, étendre en avant ses pattes antérieures sur les côtés de la tête »[2].

Remarquons aussi que les pattes antérieures, en outre de l'encoche fémorale, portent sur leur longueur une gouttière destinée à loger éventuellement les antennes. Or, celles-ci, à l'éclosion, se dégageant de l'œuf ne contractent aucun contact avec les pattes. La question se serait donc toujours posée pour la formation de la gouttière si, ce qui d'ailleurs est inexact, l'encoche avait pu s'expliquer par une pression céphalique au moment de la naissance[3].

Que cette pression ne soit pas nécessaire, la preuve en est d'ailleurs que si l'animal vient à perdre une de ses pattes antérieures, et que celle-ci se régénère, la patte de remplacement ressemblera à la patte primitive et portera l'évidement fémoral sans que la tête soit intervenue dans sa formation. Cette restauration suivant le même plan prouve évidemment que le dessin fémoral fait partie du trésor que, dans l'espèce, chaque individu transmet à ses descendants, qui le transmettent à leur tour. Mais la question revient ici, comme ailleurs, toujours la même, de savoir comment l'hérédité a pu faire cette acquisition. Si on avait recours à une série d'influences mécaniques comme celles que le lamarkisme invoque pour expliquer les mutations, Cuénot nous préviendrait que « ce petit roman, très peu vraisemblable, attribue beaucoup d'acrobatie et de persévérance au phasme, et il implique l'hérédité d'un caractère mécanique acquis, qui est inconcevable »[4].

1. A l'époque où Cuénot publiait ses observations, nous avons eu nous-même l'occasion de les contrôler sur du matériel dont nous continuons encore l'élevage, et tous les embryons que nous avons examinés avant l'éclosion, après avoir brisé le chorion de l'œuf et déchiré la membrane amniotique, portaient déjà l'encoche fémorale sur des pattes qui n'avaient pu avoir encore contact avec la tête.

2. *L'adaptation*, p. 269.

3. *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, p. 836.

4. *L'adaptation*, p. 271.

Cuénot ajoute : « Mais il n'y a rien à offrir à la place ». Rien pour ceux qui récusent l'intervention de tout facteur étranger aux forces mécaniques, car il apparaît bien, dans ce cas comme dans les autres, et plus clairement peut-être que dans tout autre, que ces forces-là sont absolument inadéquates aux phénomènes en question. Comment, en effet, pourraient-elles expliquer que l'excavation se produise sur les seuls membres de l'animal qui seront, ultérieurement, en rapport avec la tête; sur le seul article de chacun de ces membres qui sera en contact avec le segment céphalique, ni plus haut ni plus bas qu'il ne faudra pour que la tête s'encastre exactement dans la loge que lui ménageront les deux encoches? Ce magnifique travail d'ajustage, avec ce qu'il comporte de nécessaire prévision, requiert, de façon ou d'autre, l'intervention d'« une cause spirituelle, psychique, extérieure à lui, dans laquelle nous reconnaissons une intention et une invention »[1].

3. — Différenciation de la cellule considérée dans ses rapports avec d'autres dans des organismes différents.

« L'intention » apparaît dans un relief encore plus saisissant lorsque la précoaptation ne se borne pas à diriger l'évolution d'une cellule, dans un organisme donné, de manière à collaborer au travail d'une autre cellule dans ce même organisme, mais qu'elle préside à la réalisation de dispositifs cellulaires qui doivent s'harmoniser avec certains de ceux qui appartiennent à un organisme étranger.

1) ORGANISMES EN RAPPORTS ANATOMO-PHYSIOLOGIQUES.

Le développement de l'embryon des mammifères placentaires nous en fournit un exemple intéressant.

Cet embryon est, dans les organes de la femelle, un organisme à part, un individu au plein sens du mot, *sui juris* dirions-nous, du point de vue anatomique et physiologique. Il va évoluer pour son propre compte. Il a besoin sans doute d'être aidé de l'extérieur pour effectuer cette évolution, mais son individualité n'est en aucune façon lésée par la nécessité de ce secours étranger. Cette nécessité tient au fait que, dans le cas que nous prenons comme exemple, l'œuf n'a pas en lui-même, et ne peut trouver dans ses annexes, assez de réserves nutritives pour subvenir aux dépenses de son développement. C'est par l'intermédiaire de l'organisme maternel qu'il

1. CUÉNOT. *Discours à la séance publique annuelle de l'Institut de France.*

recevra l'appoint indispensable. Il est donc nécessaire que l'embryon contracte avec cet organisme, qui déjà l'héberge, des contacts plus ou moins étroits. Ils peuvent consister d'ailleurs en un simple rapport de contiguité. Dans ce cas, l'embryon sera alimenté par les sécrétions glandulaires que la muqueuse maternelle déversera dans la cavité utérine, et dont les éléments nutritifs traverseront le trophoblaste, ou enveloppe externe (chorion) pour se répandre de proche en proche par une sorte d'imbibition à travers tous les tissus [1].

Ce mode de relations est suffisant lorsque l'embryon ne doit séjourner dans l'organisme maternel que pendant un temps relativement court. C'est le cas de presque tous les marsupiaux. Les petits de ces animaux comme ceux des monotrèmes (Ornithorhynques et Échidnés) « viennent au monde de très bonne heure, par suite de l'absence de placenta; ainsi, par exemple, le Kanguroo géant, dont le mâle atteint presque la taille d'un homme, ne porte pas plus de trente-neuf jours et met au monde un petit nu et aveugle, dont la longueur ne dépasse guère celle d'un pouce (27 millimètres), et dont les membres sont à peine visibles » [2].

Le dispositif n'est pas aussi simple lorsque le produit doit accomplir toute son évolution embryologique et fœtale dans l'organisme de la mère. Il ne s'agit plus alors, entre la muqueuse utérine (mère) et le chorion (produit), d'une simple juxtaposition. Le chorion va émettre de nombreux prolongements qui perforeront la muqueuse, en la phagocytant, et se ramifieront dans son épaisseur. Peu à peu apparaîtra et se développera, au centre de ces prolongements et de leurs rameaux, un axe de tissu conjonctif lâche dans lequel s'infiltreront progressivement des vaisseaux sanguins venus de l'embryon. Il en résultera un nombre plus ou moins considérable de villosités comparables à celles de l'intestin, et qu'on appellera villosités placentaires.

Pendant que ces transformations s'opèrent, et concurremment avec elles, le chorion d'où ont dérivé toutes ces arborisations, perd, chez les Déciduates (comme l'homme), sa couche cellulaire profonde. Quant à la couche externe (trophoblaste) qui subsiste seule, elle se constitue en membrane syncytiale par disparition des membranes latérales de ses cellules.

Les villosités intestinales sont adaptées à l'absorption des élé-

1. Imbibition nécessairement sélective; nous n'avons pas à revenir sur cette question. — Le trophoblaste fait partie du chorion. Il peut être seul à le constituer (chez les Indéciduates) ou être doublé d'une assise profonde cellulaire (chez les Déciduates).

2. Claus. *Ouvrage cité*, p. 1461.

ments nutritifs préalablement digérés du bol alimentaire. Les villosités placentaires sont aussi des organes d'absorption, mais au lieu de puiser les substances alimentaires dans le tube digestif, elles les reçoivent des vaisseaux sanguins maternels qui irriguent le placenta. A la suite de processus histolytiques sur lesquels nous n'avons pas à nous arrêter, ces vaisseaux considérablement dilatés,

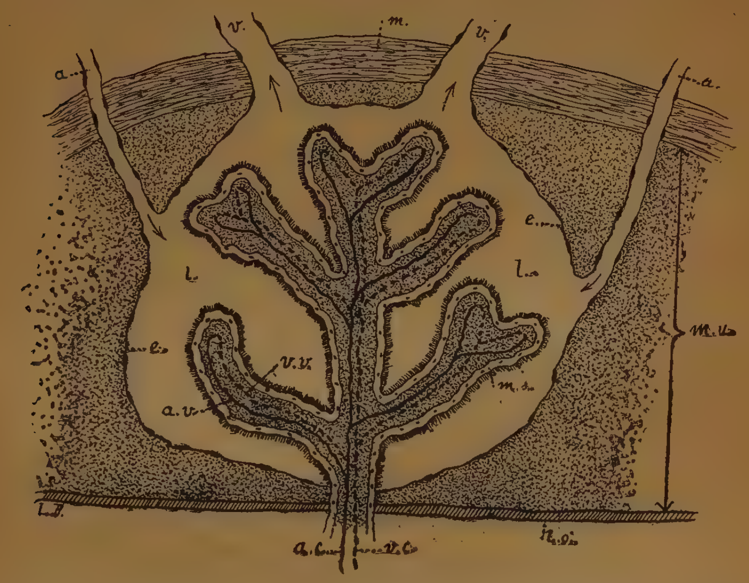


Fig. 15. — Schéma d'un arbre villeux utéro-placentaire (inspiré de divers auteurs). *a.* : artère utéro-placentaire; *a. c.* : artère du cordon ombilical; *a. v.* : artère villeuse; *v.* : veine utéro-placentaire; *v. c.* : veine du cordon ombilical; *v. v.* : veine villeuse; *l.* : lac sanguin maternel; *m. s*: membrane syncytiale (trophoblaste); *m. u.* : muqueuse utérine; *m.* : couche musculaire utérine; *l. o.* : lame obturante de la muqueuse utérine; *e.* : endothélium vasculaire. Les artères des villosités sont figurées en trait plein et les veines en trait pointillé.

et fusionnés par fonte de celles de leurs parois qui sont en contiguité, forment de véritables lacs sanguins dans lesquels baignent les villosités placentaires.

Il est évident, pour tout esprit non prévenu, que la merveilleuse coaptation réciproque des organes de la mère et de ceux du produit, qui concourent à la nutrition de ce dernier, n'ont pu se réaliser que par une série de modifications, pour ainsi dire concertées, dont l'interdépendance ne laisse aucun doute sur le lien qui les rattache les unes aux autres pour l'exécution d'une « idée », d'un « plan » préconçu. Ces rapports qui rendent ainsi solidaires deux organismes,

et commandent chez l'un d'eux, celui de la mère, des phénomènes dont il n'a aucun besoin personnel, et qui, tous, s'accomplissent au bénéfice de l'autre, le produit, paraîtraient plus significatifs encore dans le sens où nous les interprétons, si les limites de ce travail ne nous avaient pas imposé de laisser de côté l'évolution coaptatrice d'autres membranes, qui contribue, elle aussi, à mener à bien l'œuvre reproductrice.

Dans le cadre des seules transformations histologiques que nous avons signalées parmi toutes celles que nous passons sous silence, remarquons le fait de l'adaptation d'une même membrane à des fonctions qui paraissent s'exclure. Les villosités fœtales restent, en effet, coiffées de la membrane choriale (fig. 15. — *m. s.*) qui s'interpose, dans les lacunes placentaires, entre le sang de la mère, *l.* et celui du produit, *a.v. v.v.* Ce dispositif suffit pour empêcher le mélange des deux sangs (auquel s'oppose d'ailleurs aussi pour leur part les membranes des vaisseaux *a. v.* et *v. v.* des villosités), et réaliser un filtrage dont l'absence pourrait, dans certains cas, être fatal à la vie de l'embryon. Ce dernier doit cependant recevoir des lacs sanguins maternels les éléments que réclame sa nutrition. Pour faciliter leur passage, rendu plus difficile par l'affaiblissement de la pression sanguine dans les espaces intervilleux (*l.*, *l.*., fig. 15), la barrière choriale *m. s.* s'est amincie pour devenir plus perméable, en se transformant en une simple lame plasmodiale. Mais, de ce fait, le filtrage ne risque-t-il pas de devenir insuffisant?... La coaptation y a pourvu. Les auteurs qui ne concèdent aux autres membranes animales que d'être « le siège de phénomènes d'osmose, c'est-à-dire de phénomènes physiques, et dont le rôle est purement passif »[1], sont contraints, sans d'ailleurs pouvoir justifier physico-chimiquement cette exception, d'avouer qu'il en est tout autrement de la membrane syncytiale (*m. s.*) des villosités placentaires : « Le plasmodium du chorion est un tissu vivant... Et l'on se pose actuellement la question de savoir si le plasmodium n'est pas capable de détruire le sang maternel, pour utiliser directement la fibrine, le fer, les sels minéraux, qui sont les résidus de cette destruction ». Nous retrouvons de plus, ici, l'activité élective dont nous avons parlé précédemment, car le placenta fœtal, « sans cesser de jouer le rôle passif d'un filtre, devient aussi un organe actif en ce sens qu'il exerce une sélection dans les produits plus ou moins retenus »[2], et nous avons vu que ce triage *finaliste* débordait singulièrement la compétence des forces physiques, chimiques ou mécaniques.

1. J. Potocki et A. Branca. *L'œuf humain.* Paris, Steinheil, 1905, p. 155.
2. J.-P. Morat et M. Doyon. *Ouvrage cité*, t. V, p. 677.

Ajoutons que pour peu que l'on soit familiarisé avec de pareilles questions anatomo-physiologiques, l'idée ne peut venir que des coaptations de cette nature soient le résultat ni du hasard, si heureux qu'on le suppose, ni d'une évolution dirigée par les seuls agents dont le lamarkisme et le darwinisme font état. L'une et l'autre de ces théories supposent en effet une adaptation *progressive*, et d'ailleurs *aléatoire*. Or la nutrition du produit ne peut attendre que se soient plus ou moins lentement constitués les appareils aptes à l'assurer. Les tâtonnements seraient ici mortels. Le premier placentaire qui a existé a dû posséder, d'emblée, tout le dispositif dont nous avons sommairement indiqué les organes intercoaptés.

2) Organismes totalement indépendants.

Nous venons de voir des organes interdépendants se différencier dans deux individus distincts, mais dont l'un évolue dans l'organisme de l'autre. La précoaptation se révèle plus étonnante encore lorsque les deux organismes se sont développés complètement à part l'un de l'autre, sans contracter entre eux, à aucun moment, les moindres rapports, et se trouvent cependant, leur évolution solitaire achevée, s'être constitués de manière à s'harmoniser parfaitement entre eux en vue de relations possibles et qui pourront d'ailleurs n'exister jamais.

C'est le cas des organes directement intéressés à la transmission de la vie chez les espèces animales à sexes séparés. Il n'est jamais venu, croyons-nous, à la pensée de qui que ce soit, d'expliquer par des processus physico-chimiques ou mécaniques, les adaptations intersexuelles, remarquables à tous les degrés des êtres qui se perpétuent par ce mode de reproduction, mais surtout chez certains qui présentent parfois un dimorphisme général déconcertant. Ce dimorphisme, ou différence de forme, peut être poussé si loin que quelques espèces ont passé longtemps pour des espèces parthénogénétiques, ou espèces ne comportant que des femelles. Les mâles existaient, mais de dimensions tellement réduites qu'ils avaient échappé à l'observation; ou de morphologie tellement différente de la morphologie de la femelle, qu'on n'avait pas cru devoir les classer l'un et l'autre dans la même espèce.

Ici encore on a cherché à expliquer le fait de l'origine des sexes et de l'interadaptation de leurs organes reproducteurs par des arguments tirés de l'hypothèse transformiste. Il est vrai, comme le fait remarquer P. Geddes, que « Darwin, lui-même, a gardé un silence caractéristique à l'égard de l'origine du sexe, aussi bien qu'à celui de

beaucoup d'autres gros embarras dans la série organique »[1]. De ce silence P. Geddes donne, entre autres raisons, « l'influence aveuglante des recherches téléologiques ou utilitaires »[2]. Nous sommes parfaitement d'accord avec lui pour critiquer « l'opinion qui prévaut encore d'une manière assez curieuse d'après laquelle, lorsqu'on a expliqué l'utilité ou l'avantage d'un fait, on a expliqué ce fait »[3]. Il nous paraît en effet assez évident que l'utilité que peut avoir tel ou tel organe, ou telle conformation d'organe, pour assurer la transmission de la vie, n'est pas une raison suffisante pour que cet organe fasse son apparition chez un sujet qui ne le possédait pas encore, sans autre cause efficiente que l'avantage qu'il peut en tirer. Nul n'admettra qu'un tel organe, par le seul fait qu'il serait le bienvenu, puisse surgir de toutes pièces, et réponde tout de suite, comme par enchantement, aux exigences de l'organisme étranger hétérosexuel avec lequel il doit coopérer. D'autre part, confier à l'évolution l'organisation de l'appareil reproducteur, c'est livrer aux hasards de l'action de forces aveugles une œuvre délicate de coaptation qui doit prévoir une coordination parfaite, chez deux organismes étrangers l'un à l'autre, de dispositifs dont aucune des activités auxquelles on fait appel ne connaissent la destination. Mais s'il y a un « inventeur », pour parler — et penser — comme Cuénot, et que cet inventeur comprenant l'utilité de tel organe pour telle fin déterminée, l'ait soit directement soit indirectement réalisé



Fig. 16. — *Chondracanthus gibbosus* (Crustacé parasite) A : femelle; B : mâle, dessinés l'un et l'autre au même grossissement. La femelle est vue de face (face ventrale); le mâle est vu de profil.

1. P. Geddes et Y. A. Thomson. *L'Évolution du Sexe.* Trad. H. de Varigny. Paris, Babé, 1892, p. 179.
2. P. 189.
3. P. 178.

pour répondre à cette utilité, nous voilà en présence d'une de ces recherches téléologiques dont parle Geddes, et si cet auteur exclut la possibilité d'une pareille explication, par quoi la remplace-t-il?... Une série de considérations qu'il énumère le conduit « à la conclusion générale que la femelle est la résultante de l'expression de l'anabolisme prépondérant, et au contraire, le mâle, celle du catabolisme prépondérant »[1]. Rappelons qu'*anabolisme* est synomyne d'*assimilation* et *catabolisme* synonyme de *désassimilation*. Geddes pense bien qu'après cet aperçu on ne pourra plus reprocher « à l'école des naturalistes évolutionnistes qui, heureusement, est maintenant prépondérante, de ne pouvoir donner aucune explication de l'origine du sexe »[2].

Nous aimons à croire que Geddes lui-même n'a jamais été complètement satisfait de cette explication. D'ailleurs, la question de la détermination du sexe n'est pas celle que nous avons ici en vue. Nous nous contenterons d'en donner un rapide aperçu, sans discuter les opinions émises à ce sujet, et uniquement dans le but de préciser le point spécial qui nous occupe.

On pense assez généralement, à l'heure actuelle, que, chez l'embryon, l'ébauche génitale qui évoluera en glande reproductrice et donnera soit le testicule, soit l'ovaire, établissant par là le sujet soit dans le sexe mâle, soit dans le sexe femelle — quoi qu'il en soit d'autre part des caractères sexuels secondaires dont certains peuvent ne pas exister, ou n'être que fort peu apparents, — on pense généralement, disons-nous, que l'ébauche est hermaphrodite, dans ce sens qu'elle est indifférente à donner soit une glande mâle, soit une glande femelle. Il y aurait comme un stade d'hésitation au cours duquel il serait impossible de décider du sort futur de cette ébauche. Elle aurait toutefois — qu'on nous passe le terme un peu trop anthropomorphique — une sorte de prédilection à évoluer en testicule. On peut le conclure du fait que si elle doit se développer dans ce sens, elle n'a qu'à continuer sa différenciation sans rien modifier de ses premières dispositions qui se résument dans la formation des cordons sexuels ou tubes de Pflüger. Si, au contraire, l'ébauche est destinée à donner un ovaire, tout est à reprendre par la base. Les cordons sexuels existant déjà sont à sacrifier. Il disparaissent, et l'épithélium germinatif produit à leur place des cellules qui forment de nouveaux tubes de Pflüger dans lesquels vont se différencier de grandes cellules d'où dériveront les ovules : l'organe sera un ovaire.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer qu'à une époque où les

1. *Ibid.*, p. 187.
2. *Ibid.*, p. 178.

instruments et les méthodes d'observation cytologique n'existaient pas encore, Aristote avait déjà formulé une théorie de la détermination du sexe qui se rapproche singulièrement, par son fond, des faits d'embryologie sexuelle que nous venons de résumer. Aristote admettait en effet que la nature tendait à ne donner que des mâles; c'est pourquoi la femelle était regardée par lui comme un « mâle mutilé »[1]. Cette mutilation qui, d'un être destiné à être mâle, avait fait une femelle, pouvait tenir à plusieurs causes, comme le manque de puissance active de la part du géniteur mâle, une défectuosité de la matière sur laquelle s'était exercée cette puissance, ou quelque accident extrinsèque comme la direction du vent ou l'influence des astres. Il n'y a pas à s'étonner que saint Thomas ait adopté ces façons de voir[2] : elles avaient cours de son temps, et dans l'état des sciences naturelles à cette époque aucun contrôle scientifique des idées du « Philosophe » n'était possible.

De nos jours on a cherché à identifier ce prétendu *accident*, déterminant du sexe. On a voulu le voir dans l'influence exercée par les substances autacoïdes élaborées par les glandes à sécrétion interne : cellules interstitielles chez le mâle et, chez la femelle, cellules interstitielles et corps jaunes. Ces substances autacoïdes (hormones et chalones), déversées dans le sang, et portées par lui aux organes en relation avec la sexualité, feraient évoluer celle-ci dans un sens ou dans l'autre, par des actions soit inhibitives, ou dépressives (chalones), soit stimulantes (hormones). Nous n'avons pas à discuter ces vues. Contentons-nous de souligner que les chalones ou hormones, mâles ou femelles, sont élaborées dans les glandes sexuelles et qu'il faut, par suite, que celles-ci existent déjà, et donc que déjà le sexe ait été déterminé, avant que n'aient été élaborées les premières substances autacoïdes mâles ou femelles.

Dans un article sur la sexualité, Ph. Joyet-Lavergne, après avoir *fait le point* des théories actuelles sur la question, termine en exprimant l'espoir que la physico-chimie arrivera à résoudre les difficultés encore pendantes sur ces graves problèmes[3]. Souhaitons que cet espoir se réalise!

Toute la question que nous venons de résumer se place sur le plan de l'évolution sexuelle chez des individus considérés séparément, sans aucun rapport entre le développement de leur sexualité personnelle et le développement de la sexualité personnelle d'autres

1. Aristote, *De generatione animalium*, l. II, chap. iii.
2. *Sum. theol.*, 1, q. 99, art. 2, *Quaest. disp.*, q. 5, de Veritate, art. 9, ad 9um.
3. Ph. Joyet-Lavergne, *Une nouvelle étape dans l'étude physico-chimique de la sexualité.* « Rev. Biologie médicale », avril 1935.

sujets, rapport nécessitant une coaptation des uns aux autres, non seulement du point de vue des caractères essentiels de la sexualité, mais du point de vue aussi des caractères sexuels secondaires. Ces derniers, d'ailleurs, peuvent être essentiels, non pas dans chaque individu pris en particulier, mais relativement à la fonction de reproduction, celle-ci pouvant devenir radicalement impossible s'il n'existe pas, entre l'individu mâle et l'individu femelle une coaptation permettant la rencontre des cellules sexuelles dans des conditions favorables à la constitution de l'œuf et à son développement normal. Redisons que nous sommes, dans ce cas, en présence d'une prévision dont on ne peut demander aux forces physico-chimiques d'assumer la responsabilité : cette sorte de vue sur l'avenir n'est pas de leur ressort. L'adaptation d'une cellule à une autre, qu'il n'est pas possible d'admettre par la seule intervention de ces forces, même quand la question ne se pose qu'entre éléments appartenant au même organisme, est encore plus difficile à concevoir s'il s'agit de cellules se coaptant d'abord entre elles pour constituer un dispositif spécial chez un individu donné, et se coaptant ensuite de telle manière que ce dispositif s'adapte à celui d'un individu différent, en vue, pour les deux, d'une fonction commune bien déterminée.

5° Différenciation physiologique de la cellule.

La Physiologie est la partie de la Biologie qui s'occupe du fonctionnement de la cellule.

Nous avons parlé plus haut (p. 35) des rapports entre l'anatomie et la physiologie cellulaires. Nous avons dit que la cellule évolue anatomiquement de manière à réaliser un instrument spécial, en vue d'une fonction spéciale elle aussi. L'anatomie est donc commandée par la physiologie, lorsqu'il s'agit de cellules qui ont évolué dans des conditions normales.

Mais si nous pouvons, dans les cas qui se prêtent le mieux à l'observation, rendre raison de la forme et de la structure d'un organe par les exigences de son fonctionnement, ce qui — nous l'avons dit aussi — nous transporte dans une sphère étrangère à la physicochimie, sinon quant aux moyens d'exécution, du moins dans la conception de la fin que ces moyens devront assurer et dans leur mode d'emploi, par quoi pouvons-nous expliquer la prévision du fonctionnement auquel est venu s'adapter le développement organique?... Nous disons *par quoi;* nous devrions dire *par qui*, cette magnifique ordonnance ne pouvant relever que d'une intelligence supérieure capable de saisir les relations d'interdépendance des

différentes parties du tout vivant, en tant que vivant, et de les harmoniser. Cette question est la même que celle que posait déjà à tout biologiste libre d'esprit de système, la différenciation anatomique de la cellule.

1. — Idée fondamentale de la différenciation physiologique : la division du travail.

La différenciation physiologique nous semble obéir à une idée fondamentale qui est celle de la *division du travail*. Cette division du travail s'impose-t-elle absolument?... Constatons simplement qu'elle existe, très poussée chez les organismes supérieurs, seulement ébauchée, si l'on veut, mais indéniable chez les protophytes et les protozoaires. Chez ces vivants inférieurs nous ne trouvons évidemment pas, comme chez les vivants plus élevés en organisation, ces sortes d'équipes cellulaires spécialisées à tel ou tel travail, à l'exclusion de certains autres; mais chez eux, la différenciation physiologique n'en est pas moins manifeste. On y remarque, comme d'ailleurs dans toute cellule, quelle qu'elle soit, une première répartition des fonctions, mise en évidence par l'existence de deux constituants cellulaires bien distincts, ayant chacun leur rôle spécial à jouer dans la vie de la cellule : le *noyau*, et ce qui l'entoure, ou *cytoplasme*. Le cytoplasme ayant été découvert le premier, avait été regardé comme l'unique substratum physiologique cellulaire. « Mais les recherches de nombreux observateurs montrèrent ensuite le rôle important joué par le noyau dans la division des cellules et disposèrent les histologistes à retirer au protoplasma (mieux au cytoplasma) la suprématie dans la cellule pour la donner au noyau. Depuis ce moment, la découverte de parties importantes du cytoplasme (le corpuscule central, le noyau accessoire, les fibres cytoplasmiques de toute nature) a rétabli l'équilibre entre les deux parties de la cellule, sinon rendu la prépondérance au cytoplasma [1] ». Du seul fait de l'existence dans la cellule du cytoplasma et du noyau (ou caryoplasma), nous avons déjà, au plus bas échelon de la vie, les instruments requis pour une première division du travail. Ces deux instruments existent-ils dans toute cellule? En d'autres termes, existe-t-il, ou non, des cellules anucléées et des noyaux nus?

La question a pu être posée autrefois. Elle l'a été soit *systématiquement*, soit *objectivement*.

Systématiquement, l'existence de cellules sans noyau, c'est-à-dire de simples masses de cytoplasme, comme représentants primitifs de

1. A. Prenant, P. Bouin, L. Maillard. *Ouvrage cité*, t. I, p. 34.

la vie, s'est imposée à l'opinion de tous les Biologistes mécanicistes partisans de la génération spontanée. Pour eux, comme d'ailleurs pour les anti-mécanicistes, la vie a eu un commencement. Comme, d'autre part, et *a priori*, ils n'admettent pas la possibilité d'une création, la vie a dû être, a été fatalement, une efflorescence subite de la matière, par la rencontre heureuse de quelques éléments chimiques : hydrogène, oxygène, carbone, azote, essentiels à la constitution de toute substance vivante. Or, à moins, disons d'une hardiesse d'esprit peu commune, on ne peut guère concevoir que cette rencontre ait été à ce point heureuse, qu'il en soit sorti d'emblée une cellule tout équipée. On est forcé, dans cette opinion, qui n'est d'ailleurs étayée par aucun fait d'observation, d'assigner à la vie de plus humbles commencements. D'office on lui supprime le noyau.

Quoi qu'il en soit de ces origines lointaines, qui échappent à tout contrôle scientifique (il faudrait, paraît-il, les faire remonter à *environ* 1.600 millions d'années), *objectivement*, à l'heure actuelle « l'existence de cellules anucléées, dépourvues non seulement d'un noyau figuré, mais même de substance nucléaire, est bien improbable, si bien qu'on peut conclure que cette substance nucléaire tout au moins est nécessaire à la vie cellulaire »[1]. Quant à l'existence de noyaux nus, elle « doit être reléguée au rang des fables; car toujours autour de ces noyaux qu'on croyait nus on a pu déceler une couche très mince de cytoplasme[2] ».

La division du travail chez les unicellulaires ne se borne pas à l'attribution, au cytoplasme et au noyau, de fonctions générales. Chacune de ces deux parties essentielles de la cellule prend à sa charge des tâches particulières auxquelles sont affectés, tant dans le noyau que dans le cytoplasme, des organites appartenant à l'un ou à l'autre.

1) Différenciation physiologique du cytoplasme

A une première et rapide observation microscopique, rien ne paraît plus simple qu'un protozoaire *amœbien* (sous-embranchement des Rizopodes). Une étude plus attentive nous le montre assez compliqué. La périphérie de la cellule s'est adjugé la fonction de locomotion. A cet effet elle a renoncé à se constituer ce qu'on appelle une membrane proprement dite, distincte de la simple couche cytoplasmique externe. La cellule sera une *cellule nue*. La substance cytoplasmique étant physiquement une substance de consistance

1. *Ibid.*, p. 35.
2. *Ibid.*, p. 34.

gélatineuse, semi-fluide, les contours de l'amæbien pourront se prêter à toutes les déformations. Cette propriété sera utilisée par l'animal pour ses déplacements. Il émettra, sur celle de ses faces qu'on peut appeler antérieure, en raison de la direction que va prendre la cellule à un moment donné, des prolongements cytoplasmiques parfois excessivement fins et fort longs, que l'on peut repérer au microscope à cause de leur réfringence, mais qu'on finit par perdre de vue, tellement ils deviennent ténus à leur extrémité. A côté de ces émergences filiformes on observe des expansions plus ou moins robustes de la même couche périphérique. Toutes ces sortes de tentacules, sont comme autant de pieds (*pseudopodes :* pseudopodes réticulés, les plus déliés; pseudopodes lobés, les autres) qui permettent à l'animal de se transporter d'un endroit à un autre par une sorte de reptation dont on peut suivre toutes les phases au ralenti quand on l'observe au microscope entre lame et lamelle. De ces mouvements *amiboïdes* Delage et Hérouard ont donné une très exacte description : « L'animal se déplace par le moyen de ses pseudopodes d'une manière très singulière. Il émet un ou plusieurs de ces prolongements vers le point où il veut aller, puis, au lieu de les faire rentrer dans son corps, fait l'inverse pour ainsi dire, faisant fluer sa substance vers eux, en sorte que, peu à peu, tout le corps se trouve transporté au point où d'abord il n'y avait qu'une faible partie de sa masse. Le mouvement continue ainsi et, de la sorte, l'animal se déplace, mais on le conçoit, d'une manière très paresseuse [1] ». L'émission des prolongements chez les Rizopodes est facilitée par un fait caractéristique et qui nous semble général chez les amæbiens, de l'absence de granulations dans la couche périphérique de la cellule. Dans cette couche, ou *ectoplasme*, il n'y a que du protoplasme pur. Le reste de l'animal, ou *endoplasme* [2] est, au contraire, bourré de granulations.

La bordure cytoplasmique des amœbiens n'assume pas seulement a fonction de *locomotion;* elle se charge aussi de la *préhension* des aliments. Si c'est là une dérogation à la division du travail, elle n'est pas particulière à ces êtres rudimentaires; nous la retrouvons à l'autre extrémité de l'échelle zoologique, chez les mammifères les plus évolués (ancienne division des *quadrumanes*), dont les extrémités des membres sont à la fois marcheuses et préhensiles. Mais chez les protozoaires dont nous parlons le mode de préhension est bien spécial. Quand l'amibe arrive en contact avec un corps étranger,

1. Y. Delage et E. Hérouard. *Traité de Zoologie concrète.* Paris, Schleicher, 1896, p. 62.
2. On dit aussi *ectosarc, endosarc.*

par exemple en P., dans la figure 17, son ectoplasme réagit aussitôt par la production de bourrelets qui entourent ce corps et, en se rapprochant et se fusionnant, finissent par l'englober complètement. Il s'agit là probablement d'un simple réflexe tactile, qui ne comporte, semble-t-il, aucun discernement de la valeur alimentaire du corps étranger; celle-ci peut être nulle, et les phénomènes de capture ne se produisent pas moins. La proie ainsi saisie est poussée peu à peu dans l'endoplasme. Une mince enveloppe dérivée de la région ectoplasmique qui l'a cernée, délimite autour d'elle une vacuole pleine du liquide dans lequel elle a été capturée (v. d., fig. 17). C'est l'endo-

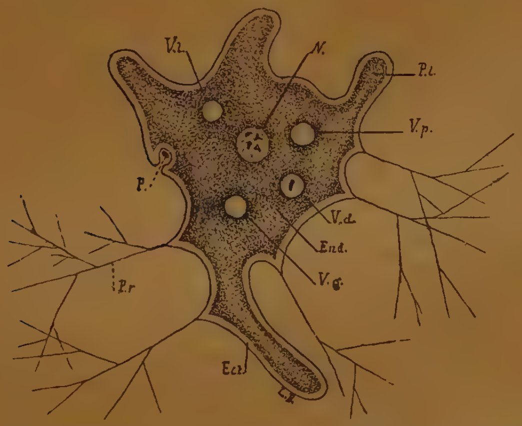


Fig. 17. — Figure schématique d'un amœbien. *N.*, noyau; *V. p.*, vésicule pulsatile; *V. d.*, vacuole digestive; *End.*, endoplasme; *P. l.*, pseudopode lobé; *Ect.*, ectoplasme; *P. r.*, pseudopode réticulé; *V. g.*, vacuole à gaz; *P.*, proie presque complètement entourée par les bourrelets ectoplasmiques; *V. l.*, vacuole à liquide (Imité de Delage et Hérouard, t. I, fig. 45 : type morphologique d'un rhizopode).

plasme environnant qui, fonctionnant comme les cellules glandulaires du tube digestif, va élaborer des diastases destinées à pénétrer au sein de la vacuole et à y digérer, si elle est digestible, la proie qu'elle renferme. Les produits de cette digestion, traversant la paroi de la vacuole digestive, se répandent dans la masse cellulaire qui les assimilera.

Les vésicules pulsatiles (v. p., fig. 17) présentent des mouvements alternatifs de constriction et de dilatation dont la signification n'est pas encore établie de façon bien précise. Certains pensent que ces vésicules jouent le rôle d'émonctoires : elles seraient chargées d'expulser de la cellule les déchets de la désassimilation. On peut en effet parfois, lorsqu'elles se contractent, observer la formation d'un canal qui les met en communication avec le dehors, canal qui donne

issue au liquide chargé de matières étrangères qu'elles contiennent. Ce serait sans doute un canal permanent, mais virtuel, ne devenant visible que lorsqu'il se dilate sous la poussée du liquide chassé par la contraction vésiculaire. D'autres pensent que les contractions et les dilatations rythmiques des vésicules sont à rapprocher de la systole et de la diastole chez les animaux qui possèdent un système sanguin. A la suite d'une contraction on peut, en effet, dans certains cas, constater des courants dans toute la masse cytoplasmique. Les vacuoles contractiles de quelques protozoaires présentent d'ailleurs un système de canaux rayonnants, qui jouent très probablement le rôle d'appareil circulatoire. Enfin, tandis que certaines vacuoles (comme v. g, fig. 17) semblent chargées de l'évacuation du gaz carbonique, d'autres, par leurs contractions, diffusent dans toute la cellule l'oxygène qui a pu pénétrer avec le liquide introduit dans les vacuoles digestives, ou de toute autre façon.

La distribution fonctionnelle que nous constatons chez les protozoaires *spontanément déformables*, tels que les amœbiens, nous la trouvons aussi chez ceux dont la morphologie est fixe, et que certains auteurs appellent des protozoaires *cortiqués*, la zone périphérique du cytoplasme constituant une membrane, ou sorte d'*écorce* plus ou moins résistante. Cette zone périphérique qui chez les protozoaires nus a assumé les fonctions de locomotion et de préhension, les conserve chez les protozoaires cortiqués à contours rigides. Ne pouvant s'étirer en pseudopodes réticulés, ni même simplement lobés, elle s'entoure de toute une végétation de cils vibratiles, qui battent l'eau autour de la cellule et assurent ainsi son déplacement dans le milieu liquide. Ce sont ces mêmes organes ciliaires qui, toujours en mouvement, ramènent tous les corps étrangers qui se trouvent dans leur voisinage, vers une ouverture permanente, ou cytostome, qui donne accès dans l'endoplasme cellulaire.

2) Différenciation physiologique du noyau

Nous venons de parler de la différenciation fonctionnelle des différentes parties du *cytoplasme* chez certains êtres unicellulaires. Chez ces vivants inférieurs le rôle du *noyau* n'est pas aussi bien défini. Cela tient sans doute à ce que, dans les formes inférieures, la division nucléaire, qui est une des manifestations les plus importantes de la vie du noyau, s'opère avec la plus grande simplicité, par étranglement progressif, aboutissant à la séparation en deux parties approximativement égales du matériel primitif. Chez quelques protozoaires moins rudimentaires, la division, bien que plus compli-

quée, n'a rien des allures, que nous qualifierions de *spectaculaires*, de la division indirecte chez les pluricellulaires, surtout de celle qui préside à la maturation nucléaire des cellules reproductrices. Mais la présence du noyau dans toute cellule de protozoaire ou de protophyte, la mort de tout cytoplasme accidentellement ou expérimentalement énucléé, ne peuvent laisser aucun doute sur l'importance physiologique du noyau.

Il n'est nullement téméraire d'avancer que sa physiologie particulière doit être essentiellement la même que celle dont on a pu dégager les principales caractéristiques chez ceux des êtres vivants dont les phénomènes nucléaires se sont prêtés à des observations plus précises. Le noyau, pour la part qui lui revient, joue à n'en pas douter un rôle dans la transmission des caractères héréditaires, de quelque façon que sa division s'accomplisse dans le processus de la multiplication (ou reproduction) des protozoaires.

De par ailleurs, la place occupée par le noyau dans la cellule, lorsque cette place ne lui est pas imposée par quelque cause mécanique, comme serait, entre autres, l'accumulation de produits cellulaires dans certaines régions du cytoplasme, indique assez nettement l'importance de son rôle. On le voit, en effet, se porter spontanément aux endroits de la cellule où règne la plus grande activité. On peut légitimement conjecturer que ces déplacements sont en rapport avec une influence du noyau sur le déclanchement et la marche de cette activité.

3) Différenciation physiologique de la membrane

Tout aussi importante que la différenciation physiologique du cytoplasme et du noyau, est la différenciation physiologique de la membrane cellulaire. Il n'est, pour s'en convaincre, que de rappeler le rôle non seulement prépondérant, mais exclusif, que lui prêtent les physiologistes dans le choix des substances à admettre dans la cellule[1]. La membrane, du fait qu'elle commande la nutrition, tient donc, pour ainsi dire, à sa discrétion, la vie ou la mort de la cellule. Ce droit de vie et de mort, elle l'exerce aussi, comme nous l'avons déjà remarqué, du fait que sans elle, la cellule, se vidant de son contenu, serait fatalement condamnée à ne plus être. Nous devons, de plus, porter à son actif une autre fonction qui intéresse au plus haut point l'accomplissement normal du phénomène primordial de la reproduction chez les vivants qui ont pour origine un œuf formé par la

1. Voir plus haut, p. 23 et s.

fusion de deux cellules hétérosexuelles. Cette fusion s'opère par la pénétration d'une cellule mâle dans la cellule femelle. Dans l'immense majorité des cas une seule cellule mâle est admise à pénétrer Il est à croire que chez les êtres où cette pénétration d'une cellule unique est la règle, la polyspermie entraînerait la formation d'embryons tératologiques; mais cela, généralement, ne se produit pas, grâce à la membrane. Celle-ci, lorsqu'une cellule s'est introduite, s'oppose à l'entrée de toute autre, bien que, parfois, des milliers soient là, cherchant à forcer le barrage. On a beaucoup discuté, et on discutera vraisemblablement beaucoup et longtemps encore sur les moyens mis en œuvre par la membrane pour s'acquitter de sa fonction protectrice. Aucune des hypothèses formulées jusqu'ici n'a donné entière satisfaction : toutes se heurtent à des exceptions qui en diminuent singulièrement la valeur, si bien qu'en désespoir de cause on en est venu à se demander s'il ne convenait pas de dépouiller la membrane du privilège qu'on lui avait d'abord reconnu et d'en faire bénéficier le cytoplasme. Possession vaut titre; tant que des preuves convaincantes n'auront pas établi l'inutilité de la membrane comme agent de défense, il conviendra, pensons-nous, de lui maintenir ce rôle.

En présence de ces faits, la question qui se pose, la même toujours et qui d'ailleurs reviendra, est de savoir comment a pu s'établir cette division du travail qui affecte telle partie d'une cellule à des fonctions spéciales, à l'exclusion des autres parties auxquelles un rôle différent a été dévolu.

S'il est vrai que la prévision de la fonction future d'un organe (ou d'un organite cellulaire) n'est pour rien dans la détermination de sa morphologie ou de sa structure, et que seules des forces chimiques interviennent comme explication adéquate de cet organe ou organite et de son évolution, en raison de la dépendance entre la fonction et l'instrument de cette fonction, on pourra se croire autorisé à placer l'un et l'autre sous le même patronage chimique. On pourra, en d'autres termes, raisonner ainsi : si tel organe ou telle partie d'organe, telle cellule ou partie de cellule, fonctionne de telle façon déterminée, c'est que, étant donné leur forme et leur structure, il est impossible qu'ils fonctionnent autrement; or cette forme et cette structure étant un produit des seules forces chimiques, leur fonctionnement s'explique donc lui aussi chimiquement.

Que cet argument pèche par la base, en faisant dépendre de la seule chimie l'existence, la morphologie, la structure d'un organe, c'est ce que Vialleton nous semble mettre parfaitement en lumière

dans la critique de l'opinion d'Osborn : « Osborn accepte l'idée que chaque individu diffère chimiquement de tous les autres de la même espèce et plus encore de ceux d'espèce différente et, avec les mécanistes, il voit dans cette différence chimique la cause de la différence morphologique. Mais les différentes parties d'un corps organisé présentent entre elles des corrélations formelles extrêmement étroites, que l'on n'aperçoit point dans les corps bruts, et qui doivent certainement leur existence à autre chose qu'à la composition chimique. Tout os d'un vertébré est corrélaté au reste de son squelette. Dira-t-on que cette corrélation tient à la composition chimique? Mais on ne voit pas comment la différence de composition chimique qui peut exister entre le protoplasme du bœuf et celui du cheval, pourrait expliquer la différence de forme de leurs os, qui devient au contraire tout à fait intelligible si on l'envisage par rapport à l'ensemble du squelette et de ses fonctions [1] ».

La chimie — la chose paraît assez évidente — n'a pu ni prévoir ni réaliser des corrélations d'ensemble interorganiques, ni des corrélations de détail intracellulaires, à destination nettement fonctionnelle.

2. — Réalisations particulières de l'idée fondamentale de la division du travail.

La division du travail que nous venons de surprendre dans l'expresssion la plus élémentaire de la vie, la vie unicellulaire, nous pouvons l'observer, et mieux encore, à tous les degrés de l'échelle des êtres et dans chacune des cellules spécialisées qui les constituent.

Quelques exemples, parmi les plus typiques, nous feront comprendre l'impossibilité, pour tout observateur indépendant, d'expliquer la physiologie particulière des cellules que nous mettrons en cause, par des réactions de nature exclusivement physico-chimique.

Nous grouperons ces exemples sous deux chefs principaux : celui de la différenciation physiologique simple, et celui de la différenciation elle-même différenciée.

1. — Différenciation physiologique simple.

a). — *Exemples tirés du règne animal.*

Rappelons d'abord un exemple que nous avons déjà signalé, à propos de la différenciation anatomique : celui de la rétine. Les élé-

1. L. Vialleton. *L'Origine des êtres vivants.* Paris, Plon, 1929, p. 377. — On lira avec intérêt, du même auteur, ce qui regarde l'« Evolution des organes considérés dans leurs rapports entre eux et avec l'ensemble de l'organisme », dans *Eléments de morphologie des Vertébrés.* Paris, Doin, 1911, p. 707 et s.

ments qui, au début, constituent cet organe, se ressemblent tous anatomiquement. Physiologiquement, ils ne remplissent encore aucune fonction autre que la fonction trophique commune à toutes les cellules de l'organisme. Ils ont tous, d'ailleurs, même origine histologique et placés au contact les uns des autres, ils se trouvent, les uns et les autres, dans des conditions de milieu absolument identiques. Ils devraient donc, à s'en tenir à la théorie biologique du mécanicisme, évoluer de même. Et voici pourtant, à ne considérer que la couche externe des cellules rétiniennes, que certaines d'entre elles vont se transformer en cellules à cône, les autres en cellules à bâtonnet. Ces deux genres de cellules sont adaptées à des modalités différentes de la fonction visuelle. Le fait que dans la tache jaune, qui est la région de la rétine la plus sensible aux rayons lumineux, il n'y a que des cellules à cône; le fait aussi que la rétine des animaux nocturnes ne renferme que des cellules à bâtonnet; le fait enfin que la forme et la constitution chimique ne sont pas les mêmes dans ces deux variétés cellulaires, prouvent bien que les exigences fonctionnelles ne sont pas les mêmes non plus dans les unes et dans les autres. S'il est vrai que les bâtonnets sont affectés à la distinction « des différences quantitatives et non qualitatives » de la lumière, et que les cônes servent « à la vision des couleurs » [1], on conçoit qu'à ces deux modalités physiologiques doit répondre une organisation spéciale de cellules chargées d'en assurer le service.

A propos de « l'invention » du bouton-fermoir, Cuénot, dans le discours que nous avons déjà cité (p. 45) rappelle que l'hypothèse du hasard « ne satisfait pas certains biologistes, qui se refusent à l'accepter pour ce qui est organe fonctionnel, et en particulier pour ce qui est outil, comme le bouton-pression; il leur paraît invraisemblable que le hasard ait fait surgir en face l'un de l'autre un mamelon et une cavité dont les dimensions correspondaient si bien que les deux parties ont pu s'y engreger solidement, et que celles-ci aient apparu juste à l'endroit où l'appareil pouvait jouer un rôle utile ». — Le hasard serait-il plus admissible dans l'appropriation à la fonction lorsqu'il s'agit de l'adaptation des cellules de la rétine?... Les caractères de cette appropriation distribuant là où il le faut, dans le globe oculaire, les cônes et les bâtonnets, réglant la proportion des uns et des autres suivant les aires visuelles, pour des raisons qui parfois nous échappent mais qui n'en existent pas moins, sont-ils moins étonnants que dans le cas de la réalisation d'un *outil*?... Et d'ailleurs, chacune de ces cellules n'en est-elle pas un?... Et si, là comme par-

1. Gley. *Ouvrage cité*, p. 905.

tout dans l'organisme, « l'appropriation à la fonction est trop parfaite pour qu'il n'y ait pas eu exécution d'un plan », ce qui exclut le hasard, à quelle intervention faire appel pour expliquer cette différenciation physiologique qui a nécessité et entraîné la différenciation anatomique?... L'évolutionisme matérialiste lui-même pourra-t-il se contenter des explications tirées des causes ordinairement invoquées dans les questions de ce genre? S'agit-il d'une influence du milieu? Mais le milieu est le même pour toutes les cellules dont nous parlons, et dont l'affectation physiologique est cependant différente. Serait-ce le résultat d'une nutrition cellulaire hétérogène au cours du développement embryologique? Mais rien n'autorise une pareille supposition : toutes les cellules plongent dans le même milieu nutritif, et leur attribuer une faculté de sélection des aliments dans le but de favoriser chez chacune d'elles un physiologisme spécial en vue d'une adaptation à de futures exigences fonctionnelles, ce serait admettre comme existant déjà dans la cellule une spécialisation antérieure à la cause dont on voudrait la faire dépendre.

Quelle que soit la solution qu'on imagine, il faut toujours se reporter au stade embryonnaire où toutes les cellules de la rétine étaient encore physiologiquement indifférentes et anatomiquement les mêmes. D'où vient que parmi ces cellules, telles et telles seront affectées à la perception des variations quantitatives (différences d'intensité) de la lumière; telles autres à la perception des variations qualitatives (différences de couleur), d'autres à une simple fonction de soutien ou de conduction, et qu'en conséquence de cette spécification fonctionnelle future — c'est-à-dire pour se mettre en mesure de s'en acquitter — les unes vont évoluer en cellules à bâtonnet, les autres en cellules à cônes, ou en cellules de Müller, ou en neurones moyens, etc... *Qui donc a distribué les rôles?*

Examinons encore quelques exemples à l'appui de la même idée.

Dans les voies digestives, à un stade où, chez l'embryon, tous les éléments de la muqueuse présentent la même forme et la même structure et n'exercent pas encore les fonctions qui plus tard leur seront dévolues, pourquoi telle de ces cellules sera-t-elle chargée d'élaborer des ferments digestifs et deviendra-t-elle, de ce fait, une cellule spécifiquement glandulaire, alors que les cellules-sœurs qui l'entourent se confineront dans un simple rôle de revêtement, à moins qu'elles n'y ajoutent, dans l'intestin, un rôle d'absorption? Et pourquoi toutes les cellules glandulaires du tube digestif, au lieu de fabriquer, toutes, les mêmes diastases de la digestion, seront-elles

spécialisées dans l'élaboration de ferments particuliers, à différents niveaux du tube? Peut-on admettre que si certaines sont prédestinées à donner de la ptyaline, d'autres de la pepsine, de la sécrétine ou de l'entérokinase, etc..., c'est parce que les forces physico-chimiques en ont ainsi décidé, et qu'elles ont décidé de même que ce seront toujours les cellules destinées à devenir cellules de l'estomac, qui se prépareront à fabriquer de la pepsine, etc.?

Dans le même ordre d'idées, à savoir la répartition de fonctions différentes à différents niveaux du même organe, l'oviducte des oiseaux nous offre un exemple remarquable. La partie de la muqueuse qui fait suite au pavillon fabrique les différentes couches d'albumine qui se déposent autour du jaune de l'œuf. Celle qui vient après a pour office d'élaborer les feuillets de la membrane coquillière. Enfin la dernière partie, avant le déboucher dans le cloaque, s'est adjugé le rôle de fournir sa coquille à l'œuf qui va être pondu. Supposons que le physiologisme de ces cellules soit renversé, que celles qui donnent l'albumine viennent à fabriquer la coquille : c'en est fait des réserves indispensables au développement de l'embryon; les oiseaux n'existeraient pas. Est-ce que, par hasard, les forces physico-chimiques auraient prévu ce grave inconvénient, et auraient sérié les différentes fonctions des cellules échelonnées tout le long de l'oviducte de manière à ce que la coquille soit élaborée la dernière pour recouvrir et protéger le tout?...

Signalons, en dernier lieu, chez les animaux, un phénomène que connaissent bien tous les éleveurs de pigeons : la sécrétion, par le mâle et la femelle, d'une sorte de lait analogue au lait des mammifères, contenant, comme ce dernier, de l'eau, des graisses, des protéides, des sels minéraux, des ferments. C'est cette substance que les parents régurgitent et font absorber au pigeonneau. Les cellules qui l'élaborent font partie de la muqueuse du jabot. Toutes les cellules de cette muqueuse ne prennent pas part à cette fabrication. Celles qui en sont chargées occupent deux poches latérales qui subissent une turgescence considérable un peu avant l'éclosion du jeune. Les autres cellules du même organe ont un autre rôle : celui d'élaborer des ferments digestifs. La spécialisation des cellules galactogènes au profit d'un organisme autre que celui qui fabrique le lait pose ici, comme d'ailleurs chez tous les mammifères, d'une façon plus nette que dans les exemples précédents, la question de la prévision du rôle qu'auront à remplir ces cellules, rôle vital pour l'espèce, qui n'a pu être abandonné au hasard de l'action des forces physico-chimiques.

b. — *Exemples tirés du règne végétal.*

Si nous faisons une incursion dans le règne végétal, combien de cas de différenciation physiologique apparentés à ceux que nous venons de voir chez les animaux, n'observerons-nous pas? Rappelons seulement quelques faits.

Nous avons parlé, chez l'animal, de cellules-sœurs, ayant même origine, non seulement éloignée (la cellule-œuf, souche unique de toutes les cellules de l'organisme), mais prochaine; cellules faisant partie constitutive d'une même membrane; exactement juxtaposées; soumises aux mêmes conditions nutritives et aux mêmes influences externes ou internes; et, par suite, selon les lois les mieux établies de la physique et de la chimie, devant avoir même morphologie et même structure, et aussi, par conséquent, même physiologisme. Or il n'en va pas ainsi : toutes ces cellules sont loin d'avoir la même destinée fonctionnelle, ce qui explique qu'elles n'aient pas non plus les mêmes caractéristiques anatomiques. Or nous retrouvons chez le végétal les mêmes infidélités aux lois de la matière.

Examinons, par exemple, la face — surtout la face inférieure — d'une feuille. Les botanistes constatent que sur cette face, entremêlés à des cellules épidermiques qui semblent n'avoir d'autre rôle qu'un rôle de revêtement protecteur, se trouvent des éléments tout différents de forme et de disposition, et dont la physiologie est aussi tout autre. Groupées par paire, ces cellules, d'aspect réniforme vues de face, laissent entre elles, leur face concave étant en regard, un espace libre délimitant un canal qui donne accès dans une lacune ordinairement assez spacieuse. L'ensemble de ces deux cellules ainsi accouplées forme ce qu'on appelle un stomate. Strictement, le stomate, ou ostiole, désigne l'origine externe du vide créé par l'affrontement incomplet des cellules.

La figure 18 reproduit schématiquement un de ces dispositifs, celui qu'on observe chez *Hyacinthus orientalis*. Chez d'autres plantes le dispositif sera un peu différent, mais le même dans ses caractères essentiels. Ce qui importe ici c'est la différenciation physiologique des cellules qui prennent part à la formation du stomate, en opposition avec les cellules qui leur sont contiguës et dont le rôle est tout autre. Ces dernières, comme nous l'avons déjà remarqué, remplissent essentiellement une fonction de protection. Afin que cette fonction s'accomplisse dans les conditions les meilleures, les cellules, serrées les unes contre les autres, ne doivent présenter aucun intervalle entre elles. Si cette continuité était parfaite sur tout le revê-

tement de la plante, d'autres fonctions aussi importantes que celle de protection ne pourraient s'exercer. *C'est pourquoi*, de distance en distance il y aura, dans le tissu protecteur, une solution de continuité. Ainsi pourront s'effectuer : les *échanges gazeux* entre l'atmosphère et les tissus sous-épidermiques, en particulier la *transpiration* de la plante, ou émission de vapeur d'eau, phénomène d'une importance vitale, puisque c'est lui « qui assure la continuité du mouvement ascensionnel de la sève brute, dans le bois de la racine et de la tige »[1]; la *sudation*, ou émission d'eau (sudation nectarifère

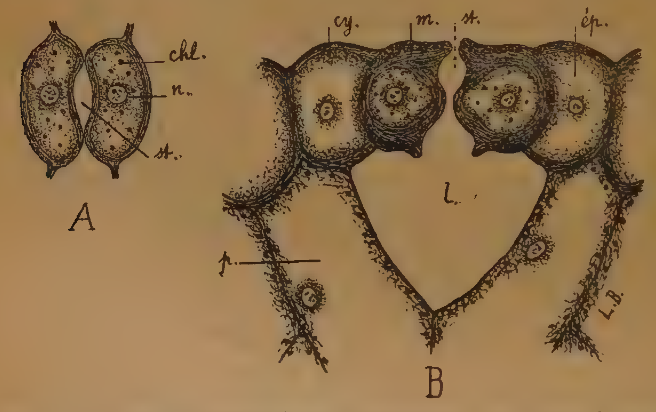


Fig. 18. — En *A*, deux cellules réniformes vues de face; — *n.*, noyau de ces cellules; — *chl.*, grain de chlorophylle; — *st.*, stomate, ou ostiole, vu de face.
En *B* (coupe transversale de la feuille) : *ép.*, cellules épidermiques; — *l.*, lacune, ou chambre sous-stomatique; — *p.*, cellule de parenchyme avec grains de chlorophyle; — *m.*, membrane très épaissie de la cellule réniforme; — *cy.*, couche pariétale de cytoplasme. (Imité de Belzung).

lorsque l'eau exsudée contient du sucre). Or, les échanges gazeux et la transpiration s'effectuent par les stomates aérifères, et la sudation par les stomates aquifères. Aussi l'épiderme de la tige et surtout celui de la feuille est-il abondamment pourvu de cette sorte d'appareils : les amateurs de statistiques nous apprennent que la feuille du chou présente jusqu'à 700 stomates par millimètre carré.

Pour expliquer le fonctionnement de ces stomates, on a recours à un dispositif fort ingénieux. Nous en empruntons la description à Belzung : « Il consiste en deux tubes de caoutchouc beaucoup plus épais du côté intérieur, où ils sont en regard, que du côté, externe; ils sont maintenus en place aux deux extrémités, et l'on

1. Er. Belzung : *Anatomie et Physiologie végétales*, Paris, Alcan, 1900, p. 546.

peut y refouler à volonté de l'air ou de l'eau. Lorsqu'on comprime l'air intérieur, les parois externes minces deviennent convexes; tandis que les portions épaissies, obligées de suivre le mouvement, prennent une forme concave et limitent entre elles une ostiole. Le stomate, tout à l'heure flasque et fermé, est maintenant turgide et ouvert »[1].

C'est de cette même façon, toute mécanique, que fonctionneraient, dans la nature, l'ouverture et la fermeture des stomates. Les cellules stomatiques réalisent en effet l'appareil ci-dessus décrit. La cutinisation de leurs membranes, qui s'étend jusqu'à celles qui limitent l'ostiole, forme sur chacune d'elles « deux arêtes plus fortement épaissies, situées l'une au bord externe, l'autre au bord interne de l'ostiole. Les autres faces de la paroi restent cellulosiques et relativement minces, et sont par suite plus extensibles que les faces cutinisées. La forte turgescence, qui caractérise les cellules stomatiques exposées à la lumière et qui résulte de l'accumulation de suc dans leurs vésicules protoplasmiques, entraîne une distension des parois cellulaires; mais, d'après ce qui vient d'être dit, cette distension se produit surtout sur les faces cellulosiques, comme plus souples que les faces cutinisées. Si l'ostiole est à ce moment fermée, la distension élastique de ces faces, qui tendent à devenir convexes, entraîne nécessairement une courbure contraire des parois de l'ostiole, et par suite l'ouverture du stomate. Inversement, toute diminution de turgescence des cellules stomatiques, occasionnant le retour élastique des parois distendues, détermine le rapprochement des parois de l'ostiole et par suite la fermeture plus ou moins complète du stomate; cette diminution de turgescence, se réalise précisément pendant la nuit, faute d'absorption assez active de liquides terrestres, par suite de la consommation des principes osmosants, ce qui laisse les cellules stomatiques plus ou moins flasques »[2].

En bref : *l'instrument étant donné*, il fonctionne normalement sous la seule influence des conditions physiques et chimiques du milieu. Il n'y a, du moins dans le cas présent, rien à redire à une pareille formule. Aussi bien la question n'est-elle pas là. Il ne s'agit point du fonctionnement de l'appareil, mais de sa fabrication. L'instrument de démonstration en caoutchouc auquel Belzung a recours pour expliquer les mouvements stomatiques ne s'est pas construit tout seul. Nous en revenons au raisonnement de Cuénot. Il y a eu un inventeur qui a conçu l'idée de l'appareil; il y a eu un ouvrier qui

1. P. 553.
2. Er. BELZUNG, *Ouvrage cité*, p. 552.

a réalisé l'idée : une intelligence a passé par là. Comment pourrait-on admettre que le stomate, appareil encore plus parfait, et qui a servi de modèle à celui en caoutchouc, a pu se concevoir lui-même. par conséquent avant qu'il n'existât, et se construire de manière à réaliser cette conception? Et s'il est impossible qu'il en ait été ainsi, faudra-t-il donc faire honneur aux forces physico-chimiques d'avoir un beau jour, par hasard, doté le monde végétal d'un dispositif physiologique qui n'a pas toujours existé, bien qu'il lui ait toujours été indispensable?

Citons encore un exemple de différenciation physiologique chez les végétaux, mais plus dégagé que le précédent des considérations anatomiques.

Dès l'entrée en germination de la graine, nous pouvons constater l'apparition d'une différenciation physiologique en rapport avec l'exécution évidente d'un plan, ce qui, remarquons-le en passant, prouve bien que la propriété de préadaptation n'est pas l'apanage d'une catégorie d'êtres vivants, mais un privilège de la vie elle-même.

Dans le massif cellulaire résultant de la multiplication de l'œuf végétal, et qui constitue l'embryon de la plante, si la situation de certains de ces éléments nous permet de dire, parce que nous en avons observé maintes fois l'évolution, que quelques-uns d'entre eux sont déjà l'ébauche de la tige, et d'autres l'ébauche de la racine, rien pourtant dans leur constitution ne nous eût permis de les identifier comme tels, et ils n'exercent encore, ni les uns ni les autres, les fonctions spéciales qui les distingueront plus tard. Rien non plus ne nous permet d'entrevoir la cause matérielle, au cas où elle existerait, qui détermine certaines de ces cellules à jouer un rôle plutôt qu'un autre, les conditions de milieu, qu'on pourrait le plus apparemment invoquer, étant les mêmes, dans l'embryon, pour toutes les cellules. Quant à l'explication de la transmission des caractères acquis, nous savons ce qu'elle vaut : elle laisse intacte la question de savoir comment ces caractères ont pu entrer dans l'hérédité; c'est la question de leur origine qui est en cause, avant celle de leur transmission.

Quoi qu'il en soit, une des premières manifestations de la différenciation physiologique de la plantule va être, pour l'un de ses membres, la racine, sa croissance vers le bas; pour l'autre, la tige, sa croissance vers le haut. Aucune intervention d'ordre physique, chimique ou mécanique, n'explique cette différence d'orientation. On dit bien que la racine est douée de *géotropisme positif*, et la tige

de *géotropisme*[1] *négatif*. Ce n'est pas une explication; c'est la simple constatation d'un fait : le fait que la racine obéit aux lois de la pesanteur et que la tige s'y soustrait. Or, les cellules qui constituent la racine et celles qui constituent la tige, ont même origine : l'œuf végétal[2], et au cours de leur développement qui se poursuit d'ailleurs dans le même milieu, aucune cause ne peut être assignée dont l'influence ait pu doter ces cellules d'un tactisme opposé vis-à-vis de la pesanteur.

Les expériences sont connues, qui consistent à changer l'orientation de la plantule en voie de développement, soit en la disposant horizontalement, soit en la retournant de manière à ce que la racine soit dirigée vers le haut, et la tige vers le bas. Dans les deux cas on voit les extrémités de la plantule se recourber de telle façon qu'elles reprennent infailliblement l'une, celle de la racine, la direction vers le bas, l'autre, celle de la tige, la direction vers le haut. On explique la production des courbures en sens opposé que nécessitent ces redressements, par l'inversion de l'accélération et du retardement de la croissance sur une des faces soit de la tige, soit de la racine. Mais ce n'est encore là que la simple constatation d'un fait, et « il reste impossible de dire pourquoi l'orientation oblique provoque ainsi une accélération de croissance du côté supérieur, un retard du côté inférieur »[3]; et pourquoi croissance et retard sont diversement orientés suivant qu'il s'agit de la racine ou de la tige.

1. Certains auteurs emploient équivalemment l'un pour l'autre les termes de *tropisme, tactisme* ou *taxie*. Il y aurait cependant lieu de distinguer. Il faudrait entendre par *tactisme* ou *taxie* la sensibilité cellulaire à différents agents physiques ou chimiques, ou l'influence exercée par ces agents sur le vivant, sans qualification du sens (positif ou négatif) du résultat de cette influence. On emploierait le terme de *tropisme* pour indiquer la direction de la réponse à l'excitation provoquée par les agents en cause.

2. Si nous ramenons si souvent la question à l'origine ontogénique de l'individu, à l'*œuf*, c'est que tout biologiste a le sentiment que là est la clef de tous les mystères, qui se poseront plus tard chez le produit évolué de cette cellule initiale : « Quelle force règle l'évolution de l'être vivant à partir de l'ovule ? Comment se fait-il que, de deux cellules en apparence semblables, se développent deux animaux absolument différents ? Comment se fait-il encore que cette cellule, paraissant de structure si simple, évolue de manière à donner toujours naissance par divisions successives, à un individu ayant constamment la même complexité que celui qui l'a produite ? Y a-t-il une force évolutive, des lois préétablies, comme le disait Claude Bernard, qui poussent l'œuf à se développer, et cela en dehors de toute action extérieure connue ? » Dr Denis COURTADE, *L'irritabilité dans la série animale*. Paris, Gauthier-Villars, 1900, p. 85.

« Toute plante..., qu'elle doive être un chêne, un lys ou une algue, commence par être une cellule, laquelle ne contient pas les produits ultérieurs, comme on l'avait supposé par un grand effort d'imagination, mais est douée ou accompagnée d'une force qui provoque ou dirige la formation des développements ultérieurs. Voilà le fait ou plutôt le mystère en ce qui concerne les individus et leurs organes. » A. de CANDOLLE. *Géographie botanique raisonnée*. Préface, p. XIII.

3. Er. BELZUNG. *Ouvrage cité*, p. 429.

Quand, d'autre part, on fait remarquer que le géotropisme positif de la racine est un bienfait pour la plante, dont elle assure la nutrition en même temps que la fixation au sol, on souligne, consciemment ou non, l'aspect téléologique de la question. Cet aspect est encore plus évident dans le géotropisme négatif de la tige, qui tient en échec les lois de la pesanteur et se joue de toutes les supercheries de l'expérimentation scientifique, au bénéfice de la plante dont elle assure, elle, les multiples fonctions de transpiration, de respiration, d'assimilation, de circulation nutritive.

L'existence de racines aériennes et de tiges souterraines qui, comporte un renversement des tropismes sans qu'aucune influence physico-chimique puisse être invoquée pour l'expliquer, ne contredit en rien l'explication vitaliste ; elle la corrobore au contraire, en ajoutant ces exemples à tous ceux que nous avons déjà examinés pour établir que la différenciation physiologique, comme la différenciation anatomique dont elle est inséparable, est absolument incompréhensible à moins qu'on ne la considère comme liée *intentionnellement* à l'exécution d'un plan [1].

2) Différenciation physiologique elle-même différenciée.

La différenciation physiologique cellulaire nous offre un phénomène plus extraordinaire encore que tous ceux dont nous venons de parler, et qui est comme une différenciation de surcharge, la *différenciation* dans le même ordre fonctionnel.

Nous en donnerons deux exemples, tirés l'un de la cellule épithéliale vibratile, l'autre de la cellule nerveuse.

a) La cellule épithéliale vibratile.

L'observation soit directe, soit expérimentale, des mouvements des cils vibratiles de la cellule en question, est facile à réaliser.

Si on isole, par exemple chez la grenouille, un petit tronçon d'œsophage et qu'on introduise à l'intérieur une baguette de verre de même calibre, on voit ce tronçon se déplacer le long de la baguette de verre. Si on le fend dans le sens de la longueur et qu'on le dispose

1. Y. Sachs termine un long chapitre sur l'influence simultanée de la pesanteur et de la force centrifuge, par une citation de Du Hamel qui conclut ses observations par la remarque suivante : « Ces expériences font connaître qu'il n'est pas du tout dans l'ordre naturel que les racines soient au-dessus des branches; il paraît que la sève qui doit développer les racines a une disposition pour descendre, pendant que celle qui doit développer les branches en a une pour monter». *Physiologie végétale.* Paris, Masson, 1868, p. 125. La naïveté de l'explication n'en compense pas le vide.

de manière à ce que la muqueuse soit en contact avec la surface sur laquelle il est étalé, on le verra se déplacer sur cette surface, dans le même sens que sur la baguette de verre : c'est l'expérience de la *limace artificielle* de Mathias Duval. Si, sur ce lambeau étalé la muqueuse en dessus, on dépose un peu de poussière de mine de plomb, ou quelques petits fragments de papier léger, on s'aperçoit que ces fragments ou cette poussière sont entraînés dans une direction opposée à celle que suivait la *limace*, et qui, sur l'animal, va de la cavité buccale vers l'estomac.

Tous ces phénomènes s'expliquent par la présence sur la muqueuse œsophagienne de fins prolongements cytoplasmiques qui, sortant de la cellule, s'épanouissent librement dans la lumière de l'œsophage. Ces prolongements sont doués de mouvements vibratoires et ce sont ces mouvements qui expliquent les phénomènes de reptation et de transport de poussière dont nous venons de parler.

Les cils de cette nature, qu'on peut observer chez les végétaux, sont surtout répandus dans le règne animal, depuis les plus humbles protozoaires jusqu'aux vertébrés supérieurs.

Ce qui n'est qu'accidentel et expérimental dans la *limace artificielle* — le déplacement par vibration ciliaire de fragments d'œsophage — devient le but normal de cette vibration chez certains unicellulaires qui n'ont à leur disposition que ce moyen de transport. Chez d'autres — ou chez les mêmes et comme fonction surajoutée à la locomotion — la vibration des cils qui se trouvent autour de l'orifice buccal aura pour résultat de drainer vers cet orifice les particules alimentaires en suspension dans le milieu liquide où vit l'animal. L'agitation de l'eau autour de lui aura aussi pour effet d'y renouveler la provision d'oxygène. Chez d'autres animaux, le mouvement des cils, dans certains organes internes, facilitera l'évacuation de leurs produits ou aidera la pénétration de produits du dehors : ce sera en particulier le cas pour les muqueuses des voies sexuelles.

La vibration ciliaire accuse une différenciation locomotrice surtout remarquable lorsqu'elle revêt le caractère de *métachronie* que Max Verworn a si bien décrit : « Dans une série de cils vibratiles, tous les cils battent, en commençant par une extrémité, d'après le même rythme et suivant la même succession, de telle sorte que le battement du premier cil est suivi d'un battement du deuxième, puis du troisième, du quatrième, etc. Jamais un cil ne bat spontanément en dehors de la série, jamais il n'exécute un mouvement avant que le cil précédent dans la série ne soit lui-même entré en mouvement. Par contre, il commence toujours à se mouvoir aussitôt après que le mouvement du cil précédent a débuté et avant qu'il ne soit

achevé. Il arrive ainsi qu'en remontant des derniers cils d'une série vers les premiers, tout cil supérieur est en avance sur son inférieur immédiat d'une faible fraction de mouvement. Le cil le plus supérieur donne donc le signal pour tous les autres : s'il est au repos, les autres sont aussi immobiles; s'il bat, les autres battent aussi après lui, et cela s'applique non seulement aux cils des cellules isolées mais aussi à ceux de toutes les cellules rangées les unes à côté des autres pour former un épithélium vibratile. Il en résulte un mouvement extrêmement gracieux et régulier qui a déjà captivé plus d'un observateur [1], et qui donne l'impression d'une ondulation passant sur la série des cils comme sur les épis d'un champ de blé inclinés sous le souffle du vent » [2].

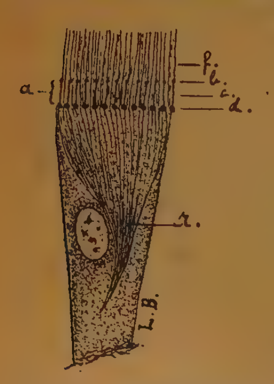


Fig. 19. — Schéma d'une cellule à cils vibratiles : *a*, plateau; *b*, bulbe; *c*, pièce intermédiaire; *d*, centrosome; *r*, racine; *f*, partie libre du cil. — Ce serait sans doute une erreur d'attribuer la même constitution à toutes les cellules à cils vibratiles. Celle que nous schématisons ici peut s'observer dans les cellules de l'oviducte de *Tellina L.* (lamellibranche siphonien).

Cet aspect résulte de la synchronisation (ou métachronie) des mouvements de tous les cils rangés en séries parallèles sur la membrane externe d'une même cellule, et de leur harmonisation avec les mouvements des cils des cellules voisines.

Il existe d'autres modalités de mouvements ciliaires dont il serait trop long de donner ici la description. Plus intéressante d'ailleurs du point de vue particulier qui nous occupe serait la question de l'origine de la différenciation vibratile des cils. Pourquoi les cils de certaines cellules vibrent-ils, alors que ceux de certaines autres ne vibrent pas?...

On a étudié avec beaucoup de précision les phénomènes mécaniques qui accompagnent la vibration ciliaire, les influences qui en accélèrent le rythme, celles qui le ralentissent, celles qui l'arrêtent, Mais cela ne touche pas le fond même de la question. Il convient d'ailleurs de constater que « le mouvement vibratile est un *mouvement automatique*; en d'autres termes, les impulsions pour l'activité des cils vibratiles naissent dans la cellule ciliée elle-même, et on ne connaît pas un seul cas où le mouvement vibratile soit d'une manière quelconque sous l'influence du système nerveux. Il a été établi par une série de

1. L'observation en est facile, à la loupe, sur un fragment d'œsophage de grenouille, par exemple.

2. Verworn, *Ouvrage cité*, p. 278.

vivisections, que la cause du mouvement a son siège dans le protoplasma du corps cellulaire; car les cils vibratiles isolés, quand ils ne possèdent plus du tout de protoplasma à leur base, demeurent complètement immobiles »[1].

Même après ces précisions la question reste entière : quelle est la cause qui explique la différenciation motrice du « proptolasma » de la cellule ciliée? Pourquoi le « protoplasma » de toute cellule ciliée ne jouit-il pas de la propriété de faire mouvoir les cils? Pourquoi aussi trouvons-nous, par exemple dans l'œsophage de la grenouille qui semble avoir été l'objet de choix pour l'étude de la vibration ciliaire, des cellules caliciformes à fonction spécifiquement glandulaire entremêlées avec les cellules à cils vibratiles? Les unes et les autres se sont trouvées dans les mêmes conditions de milieu depuis leur stade embryonnaire jusqu'à leur maturation. Leur différenciation physiologique n'est pas plus explicable par ces conditions que ne l'est la différenciation anatomique correspondante.



Fig. 20. — Une cellule caliciforme au milieu de cellules ciliées. (Voir Planche II, fig. 7, 8).

Tout ce que nous venons de dire jusqu'ici est surtout pour préparer la question que nous avons annoncée sous le nom de « différenciation de différenciation » : première différenciation, l'aptitude au mouvement; seconde, la différenciation de cette aptitude, ou la direction spécialisée du mouvement lui-même, ou le sens de la vibration des cils.

Le mouvement vibratile est « un mouvement très bien réglé, c'est-à-dire que les particules mobiles se déplacent dans une direction parfaitement déterminée »[2], direction « qui est en harmonie avec la fonction de l'organe[3] ». Donc, le mouvement, qui représente déjà une différenciation fonctionnelle, est lui-même différencié quant au sens de la vibration; ce sens n'est pas n'importe lequel, c'est un sens adapté.

Un exemple remarquable de cette adaptation est encore fourni

1. Verworn. *Ouvrage cité*, p. 217.
2. Verworn. *Ouvrage cité*, p. 277.
3. Fredericq et Nuel. *Ouvrage cité*, p. 418.

par la grenouille. Chez la femelle, au moment de la reproduction, les ovules mûrs déchirent la paroi de l'ovaire et tombent dans la cavité péritonéale. Pour passer au dehors, ils doivent s'engager dans un conduit, la trompe ou oviducte, dont le pavillon est situé contre la paroi dorsale de la cavité générale, à la racine du poumon [1]. Or, l'ovule est inerte. Il ne pourra arriver au pavillon que passivement, s'il y est poussé. Ce sont les cils vibratiles qui sont chargés de l'y amener. A cet effet « il existe, sur le péritoine de la paroi antérieure de l'abdomen, des traînées de cellules à cils vibratiles dont le courant se dirige vers les ouvertures des oviductes. Thiry et M. Duval ont montré que ces cils avaient pour fonction de conduire dans le pavillon de la trompe, les œufs tombés dans la cavité péritonéale » [2].

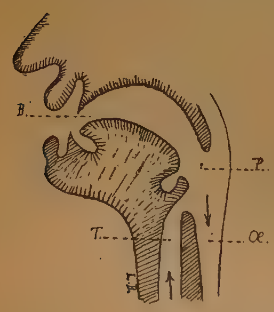


Fig. 21. — B., bouche; P., pharynx; T., trachée; Œ., œsophage.

Ce qui montre bien l'adaptation du mouvement des cils en question à une direction imposée par les besoins d'une fonction générale (la fonction de reproduction), c'est que ces organes ciliaires ne font leur apparition sur les cellules de l'épithélium péritonéal qu'à l'époque de l'ovulation. Le phénomène doit être assez général dans toute la série animale où la reproduction affecte les mêmes caractères essentiels; on l'observe, en particulier, chez tous les mammifères.

S'il était besoin d'insister sur le fait de cette adaptation du sens de la vibration des cils, pour mieux comprendre à quel point ces phénomènes échappent, en ce qui les constitue essentiellement, à toute explication physico-chimique, nous n'aurions qu'à observer — observation facile chez un grand nombre d'animaux — les caractères de la différenciation cinétique des épithéliums œsophagiens et des épithéliums trachéens. Œsophage et trachée font suite au pharynx; c'est le prolongement de la muqueuse pharyngienne qui tapisse les parois œsophagiennes et trachéennes. Le schéma de la figure 22 représente ce dispositif chez l'homme. Il est essentiellement le même chez la grenouille et chez tous les animaux chez lesquels il existe des organes pulmonaires branchés sur le tube digestif bucco-pharyngien.

Les cils qui balayent l'œsophage vibrent de dehors en dedans

1. Il existe deux oviductes, comme aussi deux ovaires, symétriquement placés de part et d'autre de la ligne médiane antéro-postérieure du corps.

2. Viault et Jolyet. *Ouvrage cité*, p. 935.

(sens indiqué par la flèche dans la figure 21). Leur mouvement a pour but de faciliter la déglutition des aliments. Tout autre est la destination physiologique des cils implantés sur la muqueuse de la trachée. S'ils vibraient comme dans l'œsophage, ils favoriseraient la pénétration dans les voies respiratoires de poussières et autres corps étrangers, qui précisément doivent en être chassés. Et c'est uniquement *à cause de cela* que leur mouvement se produit de dedans en dehors, contrairement au mouvement de ceux de la muqueuse œsophagienne. Toutes les muqueuses dont nous parlons (de la bouche du pharynx, de l'œsophage, de la trachée) étant en continuité et ne formant en réalité qu'une seule muqueuse, les cils qu'elles portent devraient, physico-chimiquement, se mouvoir dans le même sens. Sans doute il y a opportunité à ce qu'il en soit autrement, mais la raison d'opportunité n'est pas de nature physico-chimique.

b. — La cellule nerveuse.

Un autre exemple de différenciation du mouvement est particulièrement remarquable : c'est celui qui a trait à la direction que prennent les prolongements de la cellule nerveuse au cours de leur développement embryonnaire.

Un éminent neurologiste, S. Ramon Cajal, professeur à la Faculté de Médecine de Madrid, mort depuis quelques années seulement, a relevé dans certains cas de neurogénèse des caractéristiques extrêmement intéressantes. On les trouvera exposées dans son Article : *Nouvelles observations sur l'évolution des neuroblastes*, paru en 1907 dans le t. V de la Revue qu'il dirigeait sous le titre : *Travaux du Laboratoire de recherches biologiques de l'Université de Madrid*[1].

Les observations dont il s'agit ont porté presque exclusivement sur le développement neuroblastique de l'embryon de poulet.

Les cas les plus démonstratifs sont tirés de l'évolution des éléments de la mœlle épinière. Au début, toutes les cellules de cette mœlle, quelle que soit leur destination physiologique, se ressemblent. Parmi elles, celles qui seront affectées à la projection centrifuge (myélofuge en l'espèce) émettent un certain nombre de prolongements dont un va sortir de la moelle, prendre part à la formation de la racine antérieure, et cheminer à travers les tissus extra-médullaires, pour se rendre à l'organe qu'il a pour mission d'innerver et qui sera

1. Tous les Articles publiés dans le t. V sont rédigés en français, ainsi que le titre de la Revue. D'autres tomes de la même Revue portent ce titre en espagnol : *Trabajos del Laboratorio de Investigaciones biologicas*, etc., faisant suite à la « Revista trimestrial Micrografica ». Le t. V des *Trabajos* est le t. X de la « Revista ».

plus ou moins loin du point d'émergence : par exemple, chez l'homme, sortant de la moelle lombaire, il aura sa terminaison dans quelqu'un des muscles du pied.

Fig. 22. — Coupe transversale de la moelle lombaire du poulet à la 58[e] heure d'incubation. Le dessin, imité de Cajal, a été schématisé et simplifié pour ne tenir compte que des éléments qui importent à la démonstration. — *c. r.*, canal rachidien; *e. v.*, espace vaginal; *c. c.*, corps cellulaires; *m. é.* moelle épinière; *M*, mésoderme entourant la moelle; *my. a.*, prolongement myélofuge aberrant; *my. n.*, prolongement myélofuge à direction normale; *m. l. m.*, membrane limitante méningée; *m. l. i.*, membrane limitante interne (médullaire). (Voir Planche II, fig. 9)

Afin de bien comprendre le sens et la portée des phénomènes que nous envisageons en ce moment, rappelons que la future moelle épinière ne sera pas autre chose que la paroi très épaissie du tube neural primitif. Notons que même après cet épaississement il subsiste au centre du tube une lumière qui constituera la partie médullaire du canal céphalo-rachidien.

A l'extérieur de la moelle embryonnaire et tout autour d'elle apparaît un vide qui n'est peut-être que virtuel chez le vivant, et dont les réactifs de fixation ont exagéré les dimensions sur l'animal sacrifié. Cet espace périmédullaire a été appelé par Cajal espace vaginal (p. 195, figure 23). Cet espace vaginal, limité d'un côté par la moelle, est limité de l'autre par les cellules mésodermiques *M*, dont la différenciation donnera les méninges.

Quand on observe, sur des coupes transversales de moelle épinière d'embryons de poulets, le développement des prolongements myélofuges des cellules nerveuses en évolution (ou neuroblastes de His), on s'aperçoit que certains d'entre eux dessinent, au départ, des trajets aberrants. Au lieu de se diriger perpendiculairement vers la limitante interne de l'espace vaginal, comme ceux indiqués par les lettres *my. n.* (fig. 22), ils prennent une direction oblique : *my. a.*, et donnent à craindre qu'ils vont finalement s'égarer; ils marchent en effet vers la région postérieure de la moelle, alors qu'ils doivent normalement faire partie d'une des deux racines antérieures. « Toutes les excroissances nerveuses terminales, une fois arrivées à l'espace périmédullaire [1],

1. Espace périmédullaire : espace vaginal.

glissent à la surface de la *m. limitans meningea*[1], où elles paraissent chercher à l'aveuglette un chemin que les unes trouvent immédiatement, tandis que les autres ne le rencontrent qu'assez loin et après quelques tâtonnements. On aperçoit des cônes[2] qui, désorientés et perdus dans la lacune périmédullaire, parcourent dans un sens antéro-postérieur ou *vice-versa*, un grand espace, pour rebrousser chemin à l'improviste et s'insinuer, en définitive, entre les corpuscules mésodermiques[3]. Plus heureuses, d'autres fibres n'ont à fournir qu'un petit trajet, en forme de barreau d'échelles, pour parvenir au mésoderme » (p. 195).



FIG. 23. — Fibres motrices de la moelle épinière traversant le mésoderme. Embryon du poulet de la 58e heure. *B*, moelle épinière; *e. v.*, espace vaginal (schéma d'après Cajal). La flèche indique le sens de marche des prolongements (voir Planche II, fig. 10).

Finalement, tous les prolongements nerveux (ou fibres nerveuses), avec ou sans rectification de marche, arriveront à destination, malgré les difficultés qu'ils auront encore à surmonter à leur sortie de l'espace vaginal, au milieu du dédale des cellules mésodermiques. Notre figure 23, qui reproduit partiellement la figure 11 de Cajal, donne l'impression d'une sorte d'affolement des fibres à la recherche de leur chemin à travers le mésoderme. Elles sont sorties normalement de la moelle épinière *B*, ont traversé de même l'espace clair, ou espace vaginal qui entoure la moelle et se sont engagées dans le fouillis des corpuscules du mésoderme. Certaines (*F. G.)* ont passablement dévié du gros de l'effectif de la racine antérieure. *E* a été la première à se tromper de route; le crochet terminal qu'elle présente réalise un effort pour retrouver le droit chemin, et sans doute cet effort aurait abouti si l'embryon avait continué son évolution; normalement, il en est toujours ainsi.

Même réduit à ces termes le problème de la direction des prolon gements nerveux ne laisse pas d'être fort ardu. Mais il se complique bien davantage si on tient compte du fait que certaines des fibres émanées des cellules de la corne grise antérieure de la moelle, au

1. Membrane limitante externe de l'espace vaginal.
2. Les cônes sont les extrémités distales des prolongements nerveux en voie de croissance.
3. Corpuscules (ou cellules) mésodermiques : cellules qui entourent la limitante méningée.

lieu de se rendre *directement* dans quelque organe moteur, électrogène, photogène, etc., s'y rendront peut-être, mais par la *voie auxiliaire* du système nerveux sympathique. Elles s'articuleront dans quelqu'un des ganglions de ce système avec les prolongements cellulipètes de cellules dont le prolongement cellulifuge, ou bien entrera en connexion avec un nouveau neurone sympathique, ou bien se rendra sans relai à un appareil terminal.

Et tout cela est encore relativement simple. Certaines voies de sensorialité nous fourniraient des exemples de complications beaucoup plus grandes... Ne poussons pas plus loin les données du problème, et demandons-nous comment on explique, dans les cas que nous venons de citer, la différenciation spécialisée de la marche des prolongements nerveux. Cette explication vaudra pour tous les autres cas auxquels nous pourrions faire allusion au cours de la discussion.

L'explication qui semblerait, au premier abord, la plus naturelle, serait d'admettre l'existence, dans les organes terminaux où se rendent les prolongements, d'une force d'attraction spéciale, électrique, par exemple, comme l'a supposé Strasser. Cette attraction s'exercerait d'abord sur la cellule nerveuse embryonnaire (neuroblaste), pour déterminer le point de la périphérie de cette cellule, primitivement sphérique, où se produira le bourgeon initial, ébauche du futur prolongement. C'est sur ce bourgeon que l'attraction s'exercerait ensuite pour le diriger vers l'espace vaginal, le lui faire franchir et le guider enfin à travers le labyrinthe du mésoderme. Là d'ailleurs ne s'arrêteraient pas ses bons offices, car au sortir du mésoderme le prolongement n'est pas encore arrivé à destination, qu'il s'agisse d'une cellule nerveuse de la corne grise antérieure ou des ganglions spinaux. Cette solution se heurte à de nombreuses difficultés dont la principale, et qui dispense d'examiner les autres, est que les organes terminaux qui seraient censés exercer l'attraction directive, sont inexistants au moment où les neuroblastes commencent à émettre leurs prolongements. Quant aux neurones dont les prolongements ne sortent pas du névraxe (encéphale et moelle épinière), même à supposer que l'évolution de tous les neuroblastes débute à la même époque à tous les niveaux, il est impossible de comprendre comment une influence d'attraction réciproque pourrait assurer l'articulation des cellules qui sont destinées à faire partie de la même voie. Cette force attractive hypothétique nous paraît absolument impuissante à expliquer, par exemple, qu'une cellule qui se différencie dans la région supérieure du névraxe appelée à devenir le vermis du cervelet, puisse exercer, à la partie

la plus inférieure de la moelle une influence directrice sur les prolongements cellulifuges naissants de certains neuroblastes, de manière à leur faire traverser la commissure antérieure, contourner en montant la corne grise du côté opposé, et prendre part ensuite, tout le long de la moelle, à la constitution du faisceau médullo-cérébelleux ventral. Pourquoi, en effet, cette attraction, si elle existe, déterminerait-elle les prolongements sur lesquels elle s'exerce à prendre le chemin le plus long et le plus compliqué? Pourquoi aussi ne s'exercerait-elle pas sur tous les neuroblastes de la même région médullaire, mais sur ceux-là seulement qui doivent plus tard, par leurs prolongements cellulipètes, s'articuler avec celles des cellules des ganglions spinaux qui seront affectées à la voie sensorielle thermique? Pourquoi encore, parmi tous les prolongements neuroblastiques, n'y en aurait-il toujours qu'un, le prolongement cellulifuge, qui serait accessible à l'influence attractive d'une cellule donnée? Comment concevoir que la force d'attraction s'exerce, dans le cas cité et dans de nombreux autres, non pas suivant une ligne droite, mais suivant une ligne brisée?... Comment enfin expliquer la direction aberrante de certains prolongements sollicités par la même force qui engage les autres dans la direction normale?...

Il est d'ailleurs tout aussi impossible d'expliquer par l'hypothèse d'une force attractive, les phénomènes de fibrogénèse sympathique que les phénomènes de fibrogénèse cérébro-spinale. Aussi les grands neuro-physiologistes ont-ils abandonné cette explication et demandé à d'autres théories une solution d'aspect un peu moins fantaisiste.

His a pensé que la direction des prolongements cellulifuges de la corne grise antérieure vers les muscles, et celle des prolongements cellulipètes des cellules des ganglions spinaux vers les organes sensoriels, était déterminée par le fait de la moindre résistance des tissus que ces prolongements sont appelées à traverser. L'insuffisance d'une pareille explication est manifeste. Elle ne rend point compte, en effet, de cette circonstance surprenante que tous les neuroblastes de même espèce physiologique, par exemple tous ceux qui sont destinés à évoluer en cellules motrices de la corne grise antérieure émettent leur bourgeon cellulifuge primitif du côté antéro-externe de la moelle, alors que la résistance du tissu ambiant est la même sur toute la plage neuroblastique, et que des neuroblastes voisins, d'espèce physiologique différente, émettent leur bourgeon dans un autre sens. De plus, pourquoi en plein tissu mésodermique, où la résistance est la même dans toutes les directions, les prolongements ne passent-ils pas n'importe où? Pourquoi, parmi tous les prolongements d'une même racine, les uns pénétrent-ils dans le système

sympathique et les autres continuent-ils leur marche vers les organes qui ne dépendent pas de ce système? Si la résistance du tissu du sympathique est moindre que celle des tissus d'alentour, pourquoi tous les prolongements ne prennent-ils pas cette direction; et si la résistance est plus grande, pourquoi quelques-uns la prennent-ils? Pourquoi, enfin, tous ces prolongements, soit sympathiques, soit cérébraux-spinaux, partis d'une même région médullaire et soumis, par conséquent, au début, aux mêmes conditions de résistance, ne cheminent-ils pas ensemble sur tout leur trajet, et n'aboutissent-ils pas tous au même organe?

Si, en fait, tout prolongement cellulaire en voie de croissance suit toujours la direction de moindre résistance à travers les tissus qu'il parcourt, comme tel prolongement donné doit aboutir en tel point, il faut évidemment admettre, avec His, qu'il y a une préordination des tissus en vue de faciliter la marche des fibres nerveuses dans le sens voulu. Mais comment expliquer cette préordination histologique sur la base d'une plus ou moins grande résistance, préordination dont il n'existe d'ailleurs aucune preuve? D'autre part, cet agencement préétabli des tissus ne répond nullement aux difficultés que nous venons de soulever. Pourquoi, en effet, des prolongements qui ont marché côte à côte jusqu'à un certain point de leur trajet, se sépareraient-ils les uns des autres pour pénétrer dans des milieux histologiques différents? Encore une fois, si ces milieux préordonnés offrent la même résistance, pourquoi tous les prolongements ne s'y engagent-ils pas ensemble, et si la résistance n'est pas la même, pourquoi ne prennent-ils pas tous la direction de moindre résistance et n'aboutissent-ils pas tous au même point? S'il s'agit de prolongements qui ne sortent pas du névraxe et cheminent sur toute leur longueur à travers le tissu nerveux lui-même, où on n'a aucune raison de supposer l'existence de chemins neurogliques préétablis, qui diffèreraient entre eux par leur degré de résistance à la pénétration, comment expliquer que ces prolongements suivent des voies différentes, mais d'ailleurs toujours les mêmes pour la même espèce physiologique de neurones?

His n'a pas rendu son hypothèse plus acceptable en faisant intervenir un autre coefficient de direction : l'attraction nutritive. Il existerait comme des postes de ravitaillement échelonnés le long des voies que les prolongements doivent suivre, et ils suivraient ces voies, précisément parce que ces postes s'y trouvent. Cette explication accessoire se heurte, c'est évident, aux mêmes invraisemblances que l'explication principale des lignes de moindre résistance.

On a *imaginé*, et sans doute la suggestion aidant, on a cru, de

bonne foi, *observer* dans les centres nerveux et dans le mésoderme embryonnaire environnant, un dispositif ingénieux constitué par des chaînes de *Leitzellen*, ou cellules directrices. Ces cellules constitueraient par leurs ramifications une sorte de feutrage appelé *neurospongium* ou *neurodesme* dans les centres nerveux, et *plasmodesme* hors de ces centres. Elles seraient disposées à la *file indienne*, suivant des voies préétablies. Les prolongements nerveux en voie de croissance ne chemineraient pas librement à travers les feutrages; ils seraient comme happés par les ramifications des cellules directrices, qui se les passeraient de l'une à l'autre. Ainsi ont pensé, avec des nuances qui importent peu en l'espèce, Hensen, Held, Lenhossék.

Signalons tout d'abord que si cette trame directrice existe, le problème se pose de savoir sous quelles influences elle s'est constituée de manière à former un chemin préétabli, et de telle sorte qu'il soit un guide sûr pour conduire à leur destination future des éléments qui n'existent pas encore. En second lieu, ces voies conductrices ne sont pas indispensables, puisque Cajal a observé des prolongements nerveux égarés dans des espaces libres ou remplis de liquide, et qui y cheminent de façon à retrouver leur direction sans aucune aide. Dans ce cas, comment rendre raison de leur arrivée infaillible à leur destination normale?

Remarquons d'autre part que Cajal, même dans les cas d'observation les plus favorables, n'a jamais vu de pareils conducteurs. « Dans la lacune périmédullaire, écrit-il, nous n'avons jamais trouvé la moindre trace de ces fibres unissantes, décrites et figurées par Hensen, ni de prolongements de *Leitzellen* en continuité avec l'appareil de soutènement de la moelle embryonnaire » (p. 195). Les « différences d'orientation des corpuscules mésodermiques (corps cellulaires des fibres conductrices de Held) suggèrent l'idée qu'ils n'affectent aucun rapport génétique avec les fibres nerveuses (des neurones en voie de croissance), devant lesquelles ils ne font que se replier passivement » (p. 200). « Il va sans dire que malgré la meilleure volonté, nous n'avons pas réussi à constater la moindre trace de voies préexistantes dans les ganglions rachidiens, ni dans l'espace vaginal, ni dans la région médullaire sous-basale, où circulent les fibres nerveuses sensitives » (p. 203). D'ailleurs, les faits les mieux contrôlés révèlent, dans les prolongements nerveux en voie de croissance, « une liberté de mouvement et d'allure qui ne se concilie pas facilement avec la supposition d'un système de liens interneuronaux.. ni avec celle d'une charpente de voies préétablies par lesquelles les fibres nerveuses jeunes seraient obligées de marcher » (p. 193).

En l'absence de toute trame anatomique destinée à convoyer les

prolongements nerveux, des centres aux organes de la périphérie auxquels ils sont prédestinés, à quelle explication peut-on avoir recours pour rendre raison de la marche *élective* de ces prolongements? Held a jeté dans le débat l'argument de la *vis-a-tergo*. En physiologie, la *vis-a-tergo* est la pression exercée sur le sang des capillaires veineux par le sang qui vient des capillaires artériels. Cette pression pousse comme par derrière (*a-tergo*) la colonne sanguine qui revient au cœur par les veines. Par comparaison, il existerait, dans le corps cellulaire des neurones, une force de propulsion qui ferait avancer, à travers la moelle épinière et, au dehors de cette moelle, à travers les différents tissus, les prolongements issus de ce corps central. Cajal, après His, a admis l'hypothèse de cette force de propulsion qui « obéit à des conditions intérieures, c'est-à-dire des conditions qui résident dans le corps même du neurone » (p. 193). Cela nous paraît de toute évidence, mais ne résout pas le problème. Comment concevoir, en effet, par exemple, qu'une force de propulsion siégeant dans le corps cellulaire d'un neurone situé dans la corne grise de la moelle, puisse diriger l'allongement du prolongement cellulifuge de ce corps cellulaire, de manière à lui faire atteindre, s'il s'agit de la région lombaire de la moelle, tel ou tel muscle situé à l'extrémité des membres inférieurs? Comment concevoir aussi que cette *vis-a-tergo* puisse, du centre cellulaire, où elle siège, corriger les erreurs de direction en faisant rétrograder des cônes de croissance qu'elle aurait, par inadvertance, aiguillés sur une mauvaise piste?

C'est probablement en raison de ces difficultés que Cajal a, par la suite, dans le travail auquel nous nous référons présentement, imaginé une sorte d'adjuvant de la *vis-a-tergo*. « Il faut en outre, dit-il, admettre que les cônes de croissance normaux ou égarés, sont impressionnés par quelque chose (substance chimiotactique) qui vient des foyers nerveux, des épithéliums extramédullaires et de la plaque musculaire [1]. C'est seulement à cette condition que l'on peut comprendre les cas que nous venons de citer, par exemple, le fait que les axones égarés dans le liquide céphalo-rachidien parviennent en définitive, à retrouver leur chemin et à constituer des fibres motrices ordinaires » (p. 194). Non, même avec le bénéfice de cette *condition*, d'ailleurs hypothétique, il n'est pas possible de comprendre les cas auxquels il est fait allusion, pas plus que les cas normaux. Le chimiotactisme auquel il est fait appel, comme en désespoir de cause, n'est pas autre chose que la force d'attraction mise en avant par Strasser ou par His, et nous avons vu ce qu'il convenait d'en penser.

1. Cajal fait ici allusion aux fibres motrices de la corne grise antérieure de la moelle.

Peut-être Cajal lui-même, d'ailleurs, éprouve-t-il quelque défiance à l'égard de cette tentative d'explication antivitaliste, car il se montre, quelques lignes plus loin, un peu moins catégorique : « Si pendant le trajet intravaginal, qui constitue une cause perturbatrice de l'orientation des cônes, et sans l'aide de *Leitzellen*, les fibres nerveuses sont en mesure de retrouver leur route, malgré quelques égarements passagers, cela dénote que les causes de l'orientation de ces dernières ne sont pas d'ordre mécanique, mais plutôt d'ordre chimique, *peut-être* [1] faut-il les rechercher dans la présence de substances chimiotactiques positives, dont la diffusion vers la moelle à travers les interstices connectifs, exciterait l'amoebisme [2] nerveux » (p. 195).

Si d'autres que l'illustre neurologiste espagnol avaient émis une pareille opinion, on n'eût pas manqué d'y voir la plus puérile des hypothèses. Elle est d'ailleurs en contradiction flagrante avec « la liberté de mouvement et d'allure » que l'auteur réclamait tantôt pour les prolongements nerveux en marche vers leur destination périphérique. Que ces prolongements soient sollicités par des *attractions organiques* (Strasser), *trophiques* (His) ou *chimiques* (Cajal), ou qu'ils soient escortés tout le long de la route par des *Leitzellen*, les difficultés d'interprétation restent les mêmes. On ne gagne absolument rien à remplacer les voies anatomiques ou physiologiques préétablies, par des postes chimiques préétablis eux aussi, car il restera toujours à expliquer sous quelle influence ce « préétablissement » s'est opéré.

De plus, si certains prolongements dévient de la direction normale, à quelque endroit de leurs parcours, c'est évidemment que les postes d'aiguillage chimiotactiques qui doivent les lancer sur la bonne voie sont mal établis. Faudra-t-il admettre des postes de contrôle, placés de distance en distance, et qui, se rendant compte de la mauvaise direction des prolongements qui leur arrivent, rectifieront leur marche? Ce n'est donc pas une solution, mais un simple déplacement de la difficulté — pour parler avec indulgence — que nous offrent les suggestions hypothétiques de Cajal.

Comment, au surplus, Cajal ne s'est-il pas rendu compte de tout ce que son explication comporte d'invraisemblances?

A leur sortie de la moelle épinière, les prolongements cellulifuges dont le corps cellulaire se trouve dans la corne grise antérieure vien-

1. Le *peut-être* est souligné par nous.
2. Au lieu d'*amoebisme* les auteurs français disent volontiers *amiboïsme*, l'une et l'autre expression signifiant ici la propriété de la cellule nerveuse d'émettre des prolongements, par comparaison avec les pseudopodes des *amibes*.

nent se juxtaposer à ceux qui ont leur corps cellulaire dans les ganglions spinaux. Ces prolongements cheminent ensemble jusqu'à la périphérie. Les uns (prolongements cellulifuges) seront affectés à la motricité; les autres (prolongements cellulipètes) seront mis au service des fonctions sensorielles. L'ensemble constitue un nerf mixte sensitivo-moteur. Prolongements moteurs et prolongements sensoriels s'accroissent côte à côte et par suite, dans l'hypothèse de Cajal, sous l'influence attractive des mêmes substances chimiotactiques qui sont supposées se trouver sur le chemin préétabli que ces prolongements doivent emprunter. Mais arrivés à la périphérie, une dislocation va s'opérer : ceux des prolongements qui viennent de la corne grise antérieure iront s'épuiser dans une plaque (ou sole) motrice; ceux qui viennent d'un ganglion spinal se termineront dans la peau ou dans les muqueuses, soit au contact de cellules neuro-épithéliales, soit dans l'intérieur de corpuscules sensoriels. En vertu de quel instinct chaque prolongement s'aiguille-t-il dans la direction qui lui convient? Il serait un peu enfantin de supposer qu'au point de séparation des deux ordres de prolongements qui avaient jusque-là marché de conserve, se trouvent des substances chimiotactiques spécialisées les unes dans l'attraction des prolongements moteurs, les autres dans l'attraction des prolongements sensoriels. Il faudrait concevoir une sorte d'harmonie préétablie entre la nature des prolongements et le genre de substances chimiotactiques chargées d'assurer leur arrivée à bon port et, de plus, supposer que ces substances elles-mêmes ont été placées au bon endroit pour que le risque ne se présente pas de les voir attirer des fibres motrices vers des organes sensoriels, et vice versa... Croit-on, de bonne foi, que si de pareils dispositifs existent leur agencement merveilleux puisse être le fait de l'activité de forces physiques, chimiques ou mécaniques?

Si nous transportions la discussion sur la marche cellulifuge des prolongements des ganglions cérébro-spinaux et leur aboutissement dans des régions prédéterminées du névraxe où ils serviront d'instruments de transmission de modifications nerveuses qui se traduiront ultérieurement par des sensations de tact, de température, etc., la difficulté devient, si possible, encore plus inextricable. Pour obtenir l'adhésion de foi que le matérialisme biologique, même patronné par Cajal, nous demande, il devrait se présenter appuyé sur des motifs de crédibilité qu'il n'a jamais eu et n'aura jamais.

Ceux de nos lecteurs qui ne sont pas suffisamment familiarisés avec la technique des recherches biologiques, seront tentés peut-être d'opposer à notre démonstration une question préalable et de nous

dire qu'avant de parler de la direction de marche des prolongements nerveux, il nous faudrait avoir prouvé d'abord, que ces prolongements marchent. Or, nul ne les a jamais vu marcher. D'autre part, dans les dessins et les microphotographies que nous donnons d'après Cajal, les fibres nerveuses qui sont supposées émaner d'un corps cellulaire plus ou moins distant de leur extrémité, se présentent à nous, non pas en mouvement, mais à l'état statique. Comment dès lors pouvons-nous affirmer que ces fibres ont progressé jusque-là par le fait d'un mouvement qui leur est propre, en partant d'un corps cellulaire que nous disons être leur lieu d'origine?...

Nous pourrions, pour justifier cette manière de voir, rappeler que tous les neurologistes admettent cette genèse des prolongements nerveux; mais cette unanimité ne serait peut-être pas, pour tous nos lecteurs, une preuve péremptoire. Ils pourraient nous citer, en effet, et ils n'auraient que l'embarras du choix, de prétendues vérités scientifiques universellement admises autrefois, et qui sont tenues non moins unanimement, à l'heure actuelle, pour des erreurs incontestables. Laissant donc de côté l'argument d'autorité, et malgré notre désir d'être bref dans ces pages déjà peut-être trop chargées de technicité, nous allons exposer, très sommairement d'ailleurs, quelques-uns des procédés utilisés pour l'étude de la neurogénèse, en prenant, comme exemple, l'objet utilisé de préférence par Cajal, l'œuf de poule.

On met à l'étuve un nombre d'œufs assez considérable, afin d'être plus assuré d'avoir à sa disposition du matériel fécondé, et de se ménager la possibilité d'observer le développement nerveux à différents stades de différenciation. Pendant la vingtaine de jours que dure l'incubation, on effectue des prélèvements à différentes dates, les espaçant de quelques heures ou de quelques jours, et les embryons sont traités par les méthodes neurologiques ordinaires. On pourra avoir ainsi la série des stades par lesquels passe l'évolution du système nerveux chez le poulet. Comme on peut, à volonté, multiplier les stades, il sera possible de constituer une série sans lacunes importantes au point de vue du développement neuronien. On aura, chez certains embryons, une moelle épinière déjà constituée dans sa morphologie essentielle, mais moins évoluée que celle schématisée dans la figure 22 (planche II, fig. 9). On se trouvera alors en présence de cellules que rien ne caractérisera encore, anatomiquement, comme nerveuses : cellules sphériques comme toutes les cellules issues de la cellule-œuf, avant leur différenciation. Ce sont certaines de ces cellules qui vont être les cellules-mères des neurones, les autres, pour la plupart, devenant cellules de neuroglie. Chez un

embryon plus évolué, les cellules-mères des neurones, ou neuroblastes, ne sont plus aussi régulièrement sphériques et certaines présentent déjà une ou plusieurs expansions (fig. 22) que l'on peut suivre à travers les tissus soit de la moelle épinière, soit du mésoderme qui entoure cette moelle. Il est incontestable que ces expansions sont une production du corps cellulaire [1]. Elles font partie intégrante de la cellule qui leur a donné naissance. Même lorsque leur extrémité aura atteint son terminus, et si éloignée qu'elle se trouve alors du neuroblaste primitif d'où elle émane, elle ne cessera pas d'être avec lui en continuité anatomique et de lui appartenir toujours en propre. Cette appartenance que prouve l'observation directe du développement embryonnaire, trouve sa confirmation dans les phénomènes de dégénérescence du prolongement lorsque celui-ci est accidentellement, ou expérimentalement séparé du corps cellulaire, de même que dans les réactions caractéristiques du corps cellulaire à la suite de cette séparation [2].

Les prolongements cellulaires ont donc dû cheminer, à partir du neuroblaste, à travers les tissus des organes en formation; le fait que ces tissus sont encore à l'état embryonnaire, ni ne supprime ni ne simplifie la difficulté de l'explication de la marche sélective des prolongements, marche sélective que nous avons voulu donner comme un exemple particulièrement remarquable de *différenciation de mouvement*, dans ce sens qu'elle comporte comme caractéristique spéciale la faculté de corriger les erreurs de direction. Nul autre élément que l'élément nerveux ne jouit, à notre connaissance, d'une pareille faculté et pour la raison bien simple que le mode de développement des autres cellules rend cette faculté absolument inutile. Les cellules des tissus autres que le tissu nerveux, se différencient totalement sur place et, par conséquent, n'ont nul besoin de chercher leur direction. Que les cellules qui doivent se différencier de manière à constituer des appareils dont l'emplacement n'est pas laissé au hasard, se trouvent juste sur le trajet que ces appareils devront occuper, comme, par exemple, les cellules des *germes vasculaires* qui donneront les appareils de la circulation, c'est là une prédétermination qui ne doit pas être sans surprendre les partisans du détermi-

1. On entend par *corps cellulaire*, en neurologie, la partie de la cellule qui loge le noyau; quant au *neurone*, c'est la cellule nerveuse adulte prise au complet, c'est-à-dire avec son corps cellulaire et ses prolongements.

2. Ne pouvant nous étendre ici plus longuement sur cette question, nous nous permettons de renvoyer le lecteur, pour plus ample information, à un travail personnel sur un sujet analogue : A. Van Gehuchten et L. Boule. *Les noyaux extra et périmédullaires des Oiseaux* (*Lobes accessoires de Lachi ou Noyaux de Hofmann de Kölliker*). Le Névraxe, vol. IX, 1907.

nisme physico-chimique. Mais ces cellules n'ont pas, elles, à chercher leur voie, pas plus que ne la cherchent, bien que dans d'autres conditions, les cellules qui prennent part à la constitution des arborisations villeuses de l'embryon qui vont s'épanouir dans le placenta maternel (figure 15, page 59). Dans ce dernier cas, ce que l'on peut appeler le sens de la direction, apparaît comme dévolu à l'appareil lui-même, et non à chacune des cellules qui le composent, bien que la réalisation du phénomène de pénétration à travers les tissus de la muqueuse utérine soit le résultat de coordinations physiologiques des différentes cellules qui constituent l'arbre villeux. Les choses semblent, en tous cas, se passer comme s'il en était ainsi.

Nous touchons là au mystère de la croissance des organes. De quelle nature est l'influence qui s'exerce sur la cellule-œuf d'abord, puis sur les cellules qui en dérivent, pour assurer et cette croissance prise en elle-même, et sa direction suivant un plan toujours le même chez tous les individus appartenant au même groupe dans la classification des êtres vivants; direction qui fera que dans la distribution des différents organes chacun d'eux occupera toujours, sauf les cas d'anomalies tératologiques, le même emplacement relatif?... On avait imaginé, pour expliquer cette distribution, une théorie, fort simple en vérité, qui supposait que dans dans la cellule-œuf chaque partie du plasma germinatif était prédéterminée à donner telle ou telle partie définie du futur embryon : bras, jambes, tête, etc... L'embryon existerait déjà en miniature dans l'œuf, avec la topographie des membres et de tous les organes telle qu'elle se manifestera chez l'adulte. Mais des cas de gémellité normale aux dépens d'une même cellule-œuf, et le développement normal de l'embryon même après ablation d'une partie notable du plasma germinatif, prouveraient, à défaut de tout autre argument, le caractère arbitraire d'une pareille hypothèse.

Il faut évidemment admettre que si l'évolution ontogénique réalise toujours la croissance dans la même direction, pour les mêmes organes, chez les individus de la même espèce, c'est en vertu d'un principe qui fait partie du trésor héréditaire de cette espèce. Mais ce n'est là qu'une solution dilatoire : il restera toujours à expliquer comment ce principe est entré dans l'hérédité, et si la théorie des *gènes*, actuellement fort en vogue, est appelée à rendre raison un jour du *comment* de la transmission de certains caractères, on pourra encore cependant se demander à la faveur de quelles influences ces corpuscules hypothétiques ont fait l'acquisition des facultés qu'on leur attribue. Il ne semble pas que ces influences, si on parvient jamais à en déterminer la nature, puissent favoriser beaucoup les

théories physico-chimiques de la vie : « malgré des interprétations qui ont été données en sens contraire, la théorie du gène n'est pas une *théorie mécaniciste*. Le gène n'est pas plus assimilable à une entité chimique ou mécanique que n'est la cellule ou tout l'organisme même. De plus, il est vrai que la théorie emploie le mot *gène* comme la théorie chimique parle d'atomes ou de molécules, mais il y a pourtant une distinction fondamentale à faire entre ces deux façons de parler... Ainsi les sommets actuels de la biologie nous ramènent à notre point de départ, nous retrouvons le pouvoir nommé la *vie* » [1].

c. — La cellule mâle végétale et animale.

Nous avons voulu borner notre examen de la *différenciation physiologique du mouvement* à deux ordres de faits concernant, l'un les cellules à cils vibratiles, l'autre les prolongements neuroniens. Nous avons laissé de côté une espèce cellulaire qui s'apparente d'assez près à la cellule ciliée et présente comme elle des phénomènes cinétiques d'un très grand intérêt : la cellule reproductrice mâle, chez presque tous les animaux et chez un assez grand nombre de végétaux (muscinées, hépatiques, algues). Le nom même donné par les premiers observateurs à ces éléments sexués, inviterait à leur attribuer une autonomie de décision qui trancherait en faveur d'une indépendance totale à l'égard des sollicitations de nature physico ou chimicotropique. Les cellules mâles des animaux avaient été appelées des *spermatozoïdes* et celles de certains végétaux, des *anthérozoïdes*. Leurs mouvements revêtent parfois une telle liberté d'allures que ces cellules avaient été regardées comme des animaux unicellulaires *sui juris*. Sans doute, la marche de certaines cellules mâles vers la cellule femelle, n'est pas toujours assez caractéristique pour qu'on ne puisse l'expliquer soit par le hasard, soit par une sorte d'attirance, chimique si l'on veut, ou de tout autre nature.

Que chez les mousses, par exemple, les anthérozoïdes qui nagent dans l'eau où baignent les archégones, arrivent *accidentellement* au contact de ces organes au fond desquels se trouve l'oosphère (cellule femelle), ou qu'ils y soient *attirés* par la gouttelette de mucilage qui humecte le sommet du col de l'archégone, c'est là une explication plausible; mais elle n'est qu'une hypothèse, et Belzung lui-même ne la formule qu'avec réserve : « Par l'action osmotique qu'il exerce sur l'eau ambiante, ce mucilage intervient sans doute pour attirer les anthérozoïdes qui nagent à proximité » [2].

1. Dr Singer, *ouvrage cité*, p. 593.
2. Belzung, *ouvrage cité*, p. 1084.

Quoi qu'il en soit de l'action osmotique invoquée par Belzung, les conditions dans lesquelles se trouvent ici les deux cellules reproductrices permettent d'interpréter assez naturellement leur rencontre au sein de l'organe femelle. L'explication est beaucoup plus difficile, sinon chez la plupart des végétaux, du moins chez le plus grand nombre des animaux.

Dans certains cas d'une netteté qui ne laisse place à aucune indécision, l'*attraction d'ordre chimique* que pourrait exercer l'ovule sur la cellule mâle, attraction dont on argue le plus volontiers pour expliquer la rencontre des cellules reproductrices, ne saurait intervenir. Ne signalons que celui de certaines sangsues de la famille des *Glossosiphoniidae* (*Haementeria*), chez lesquelles les cellules mâles sont déposées en n'importe quel point de la surface du corps. Elles doivent se frayer un chemin à travers la peau du sujet qui les a reçues; après avoir franchi les téguments, il leur reste à surmonter les obstacles que présentent et les cloisons transversales et le dédale des néphridies. Lorsque, enfin, elles arrivent au contact des ovaires ou de l'utérus, elles ont encore à perforer la paroi de ces organes. Nous sommes manifestement en présence d'une recherche, comme celle que nous avons constatée tantôt dans les phénomènes de neurogénèse de la corne grise antérieure de la moelle épinière. Il ne s'agit pas d'un entraînement passif aveuglément subi, mais d'une direction autonome en marche vers la réalisation d'un plan que des forces physico-chimiques ne peuvent concevoir, réalisation à laquelle, sans doute, elles peuvent et doivent concourir, mais en abandonnant à d'autres les soins du déclanchement, du sens et du contrôle du mouvement.

Le cas des trajets anormaux suivis parfois par les cellules mâles ne contredit en rien nos conclusions; tout au contraire, comme il ressort du fait consigné par Virchow et que rappelle Doyon : « Virchow a observé une grossesse développée dans la corne rudimentaire gauche de l'utérus. Entre cette corne et la corne utérine droite, il n'y avait aucune communication. Or, l'ovaire gauche portait un corps jaune; sur l'ovaire droit, il n'existait aucun follicule rompu. Pour féconder l'ovule mis en liberté sur l'ovaire gauche, les sper-

1. Edmond Perrier attribue le passage des spermies à travers la peau du sujet récepteur, chez les *Glossosiphonia*, les *Herpobdella*, etc., à « la contraction graduelle de l'enveloppe du spermatophore (qui) force le contenu à passer à travers les téguments » (*Traité de Zoologie*, p. 1755). — D'autres pensent que « les substances accumulées dans le spermatophore, outre qu'elles assurent la nutrition des spermatozoïdes, exercent sur le tégument une action dissolvante » (Morat et Doyon. *Traité de Physiologie*, t. V, p. 624). — Action mécanique pour les uns, action chimique pour les autres; on est peut-être dans les deux cas aussi près — ou aussi loin — de la vérité.

matozoïdes ont donc dû parcourir la corne droite de l'utérus, la trompe droite et de là se diriger vers l'ovaire gauche [1] ». Que les spécialistes de ces questions se reportent au dessin des organes en cause; qu'ils examinent l'itinéraire suivi par les cellules mâles, et qu'ils essaient de démontrer que cet itinéraire a pu être imposé soit par une attirance chimique émanée de l'ovule qui a été fécondé, soit par des influences physiques d'osmose, de capillarité, ou autres... C'est bien dans ce cas, quoique anormal, et précisément parce qu'anormal, que la vie se montre ce qu'elle est : une force qui utilise avec une indépendance que ne connaît pas la rigidité des lois physiques, toutes les ressources qui lui sont utiles pour arriver à ses fins.

d. — La cellule en cytodièrèse.

Cette indépendance cellulaire apparaît tout aussi nettement dans certains phénomènes d'un ordre assez différent, mais que nous ne pouvons passer sous silence et par lesquels, d'ailleurs, nous allons clore toute cette étude. Il s'agit de ceux qui caractérisent ce qu'on a appelé la division cellulaire *indirecte*. Cette division porte aussi d'autres noms que nous ne ferons qu'énoncer : *mitose*, *cinèse*, *diérèse*, *caryocinèse ;* il serait mieux de dire *cytodiérèse*.

La cytodiérèse comporte un certain nombre de phénomènes qu'on a groupés en différentes phases (prophase, mésophase[2], anaphase, télophase) et dont l'aboutissement est la séparation de la cellule-mère en deux cellules filles, par la division du cytoplasme et du noyau de la cellule primitive. Les transformations qui caractérisent ces diverses phases procèdent par une série de mouvements d'où est dérivé le nom de cinèse donné à l'ensemble des phénomènes. Nous supposons connue toute la technique opératoire de la cellule en voie de division : formation des figures astérienne et fusoriale, clivage chromosomique, migration des chromosomes à deux pôles opposés de la cellule, constitution des deux cellules nouvelles et leur séparation soit par étranglement, soit par formation d'une plaque équatoriale.

Du point de vue où nous envisageons ici les choses, tous ces phénomènes offrent un égal intérêt. Nous voulons toutefois attirer spécialement l'attention sur un caractère particulier : celui qui règle le jeu des chromosomes.

1. Morat et Doyon, *ouvrage cité*, p. 650.

2. Le terme classique est *métaphase*, ou *métacinèse*. Il nous paraît mal choisi. Le terme *mésophase* lui-même, qui signifie phase du milieu, n'est pas rigoureusement exact.

Il existe dans le noyau des cellules en division une trame appelée trame chromatique (en raison de son affinité à l'égard de certains colorants qu'elle prend électivement ou qu'elle retient avec plus d'énergie) qui apparaît, plus ou moins distinctement suivant les phases caryocinétiques, fragmentée en un certain nombre de tronçons appelés chromosomes. Ces chromosomes sont toujours en même nombre pour les cellules d'une espèce donnée. Ainsi, il y en a quarante-huit chez l'homme. Il y en a quarante-huit aussi, par exemple, dans l'*Iris germanica*[1]. Le nombre chromosomique peut être beaucoup moins élevé. Il tombe à deux chez *Ascaris megalocephala* monovalens. Cette circonstance est des plus favorables pour l'étude de certains phénomènes particulièrement importants. Van Beneden l'a mise à profit dans la recherche des processus de maturation des cellules reproductrices, et ce matériel de choix lui a permis de découvrir ce qui est donné actuellement comme une loi générale de la spermatogénèse et de l'ovogénèse : la réduction de moitié du nombre des chromosomes à un des stades du développement des gamètes mâles et femelles.

Il est généralement admis que tant que la cellule est encore capable de se multiplier les chromosomes persistent dans le noyau comme unités indépendantes à travers toutes les transformations caryocinétiques. A aucun moment ils ne s'anastomosent, c'est-à-dire ne se mettent bout à bout, en continuité de substance. Au cours de la division, on voit chacun d'eux se fissurer dans le sens de la longueur (clivage longitudinal)[2]. Cette fissuration s'accentuant, chaque unité chromosomique apparaît divisée en deux branches qui tendent à se séparer l'une de l'autre et finissent par se rendre complètement indépendantes. Chacune prenant alors la signification d'un véritable chromosome, on a deux fois plus d'unités chromosomiques qu'au départ. Ultérieurement la moitié de ces branches allant à un pôle et l'autre moitié au pôle opposé pour constituer un nouveau noyau à

1. C'est délibérément, et pour ne pas être entraîné trop loin dans nos développements, que nous laissons de côté l'intéressante question du *chromosome accessoire*, *hétéro-chromosome*, ou *sex-chromosome*.

2. A quelle phase de la division se produit le phénomène dont nous parlons?... Dans leur magistral *Traité de Cytologie végétale* (1933), A. Guillermond, G. Mangenot et L. Plantefol, rappellent (p. 220) l'opinion que nous avons soutenue autrefois (1911), en collaboration avec J. Granier, que chez *Endymion* le clivage des chromosomes débutait dès l'anaphase, et signalent qu'il a été fait justice de cette opinion. Il y a ici un malentendu. Les auteurs semblent être à la recherche d'un processus *uniforme de* division chromosomique. Ce processus *uniforme* existe-t-il?... Nous ne le pensons pas. Aussi bien nous sommes-nous gardés d'étendre à toutes les cellules les conclusions que nous avaient fournies nos observations sur le comportement de la caryocinèse chez *Endymion*. Nous croyons que ceux qui se livrent, pour leur compte, à de semblables généralisations, sont dans l'erreur.

chacun de ces pôles, les cellules néo-formées présenteront le même nombre de chromosomes que la cellule-mère. La persistance de ce nombre spécifique est le *résultat* du clivage. En est-elle le *but?* Si oui, comment se représenter le mode d'action des forces physico-chimiques pour le concevoir et l'assurer, dans le système de ceux des cytologistes auxquels répugne l'intervention de toute idée téléologique comme de toute activité qui ne serait pas d'essence chimique, physique ou mécanique ?... P. Bouin, au livre IX, du tome I du grand *Traité d'Histologie* de A. Prenant, P. Bouin et L. Maillard, a fait la recension des théories qui se réclament de ces préoccupations antivitalistes. Voici sa conclusion : « Il est indéniable qu'aucune de ces hypothèses ne paraît cadrer avec tous les cas connus de cytodiérèse; si l'on est parvenu à construire des schémas explicatifs de la figure mitotique, aucun ne peut nous donner la raison d'être des mouvements cytodiérétiques et en particulier de l'ascension des chromosomes. Il semble légitime de conclure que le mécanisme de la mitose attend encore son explication scientifique » (p. 760). Cette réserve est d'autant plus indiquée que le même auteur, parlant des mêmes théories, déclare quelques pages plus haut que « si elles paraissent séduisantes à première vue, un examen rapide des faits acquis en signale un grand nombre qu'elles ne peuvent expliquer ou qui leur sont contradictoires » (p. 756).

La persistance du même nombre de chromosomes dans les cellules en division, malgré tous les remaniements que comporte la cytodiérèse, n'est pourtant pas un fait universel; mais les cas de dérogation au processus cytodiérétique habituel ne sont pas faits pour simplifier la question et lui donner une solution de nature à satisfaire les mécanicistes, à quelque nuance qu'ils appartiennent.

Toutes les cellules de l'organisme qui ne sont pas directement affectées à la reproduction de l'individu, sont appelées cellules somatiques, les autres étant les cellules sexuelles. Le fait de la persistance du nombre des chromosomes semble ne souffrir aucune exception dans la multiplication des cellules somatiques. Chez les cellules reproductrices, au contraire, et chez toutes assez généralement à la même phase de leur évolution, le nombre des chromosomes est réduit de moitié [1]. Quel hasard, ou quel caprice intentionnel préside à cette dérogation? Ni l'un ni l'autre. Le hasard n'affecterait pas ce caractère de régularité. Le caprice ne s'inquiéterait pas d'une

1. La réduction chromosomique, découverte par Ed. VAN BENEDEN chez les animaux (*ascaris megalocephala*) et par STRASBURGER chez les végétaux, a reçu le nom de *méiose*.

fin ordonnée à réaliser. Tout se ferait au petit bonheur. Or il n'en est pas ainsi du phénomène en question. Il n'est pas possible de ne pas remarquer le sens de prévision qu'il comporte, et nous serions presque tenté de dire, comme une sorte de souci, inhérent à chacune des cellules en cause, de se préparer à remplir un rôle bien défini dans l'accomplissement d'une future fonction à deux. La réduction de moitié du nombre des chromosomes a lieu, en effet, chez les êtres vivants animaux et végétaux qui se reproduisent par rencontre d'une cellule mâle et d'une cellule femelle, et par fusion réciproque, cytoplasme à cyptoplasme et noyau à noyau, de ces deux éléments, pour constituer l'œuf d'où sortira un organisme nouveau. Il est indubitable que la réduction a lieu pour éviter que le nombre des chromosomes ne double à chaque génération, et c'est aussi pour cela que le phénomène réducteur n'affecte que les cellules reproductrices.

S'il y a des exceptions à cette règle, elles sont, de notre point de vue, aussi intéressantes que les processus ordinaires. La réduction, au cours de la maturation des cellules reproductrices, du nombre des chromosomes est le procédé habituel de régulation. Exceptionnellement cette réduction peut ne pas avoir lieu. Dans ce cas, il est évident que l'œuf, constitué par la fusion de deux cellules à noyaux non réduits, possédera un nombre de chromosomes double du nombre spécifique. Mais ce que nous appellerions une sorte d'instinct de conservation cellulaire est comme aux aguets, et lorsque cet œuf se divisera, il subira une réduction chromosomique qui rétablira le nombre normal.

Une autre exception est non moins intéressante. Nous avons dit que la réduction chromosomique s'observait chez les êtres vivants qui se reproduisent par digénie, ou fusion d'une cellule mâle et d'une cellule femelle. Que va-t-il se passer chez ceux qui se reproduisent par parthénogénèse [1]? Si la réduction du nombre des chromosomes a lieu dans l'ovule, ou cellule femelle, qui est seule à donner naissance à l'individu nouveau, celui-ci n'aura évidemment que la moitié du nombre chromosomique de son géniteur. A quoi se réduirait donc, à l'heure actuelle, le matériel nucléaire chez des espèces parthénogénésiques qui existent sans doute depuis des milliers d'années et qui, à chaque génération, ont vu disparaître la moitié de leurs chromosomes et avec eux, non seulement la garantie, pour la large part qui leur incombe, de la transmission des caractères héréditaires, mais

1. Parthénogénèse, génération vierge, s'effectuant sans intervention du mâle. Ce mode de reproduction peut être réalisé artificiellement, mais il existe aussi dans la nature et s'effectue normalement, en dehors de toute intervention expérimentale.

aussi la garantie de la transmission normale de la vie [1]? Mais ces aléas ne sont pas à redouter, car ici également un physiologisme conservateur monte la garde, qui ne permet pas que le nombre des chromosomes descende jamais au-dessous de la moitié. Quel est le moyen mis en œuvre par l'organisme pour assurer ce résultat? Deux cas sont à considérer : celui de la *parthénogénèse absolue* et celui, si curieux, de la *parthénogénèse facultative.*

Dans le cas de la *parthénogénèse absolue* il n'y a jamais intervention d'élément mâle pour rétablir, le cas échéant, le nombre spécifique des chromosomes. Il faut, de toute nécessité, ou que l'ovule parthénogénésique ne subisse pas de réduction [2], ou que chez l'embryon résultant du développement d'un ovule réduit, un processus d'autorégulation double à un moment donné le nombre des chromosomes. Les deux modes existent. Le premier, qui est le plus fréquent, a reçu le nom de parthénogénèse *somatique*, opposé à celui de parthénogénèse *générative*, qui comporte la réduction. Ce dernier (processus d'autorégulation) a été observé dans la parthénogénèse expérimentale pratiquée chez les *échinodermes* et les *amphibiens*. Les embryons ont, au début, moitié moins de chromosomes que ceux produits normalement chez les mêmes espèces (par fusion d'un gamète mâle et d'un gamète femelle), mais dans la suite du développement ce nombre est doublé.

Dans le cas de la parthénogénèse facultative, comme chez l'*Abeille* il est certain que tous les ovules ont le nombre réduit de chromosomes. Il est certain aussi que les mâles qui naîtront parthénogénétiquement de ces ovules ne possèdent dans toutes leurs cellules que ce nombre réduit. Mais les cellules reproductrices de ces mâles, lorsqu'elles se différencieront, ne subiront pas de nouvelle réduction chromosomique. Quand elles se fusionneront avec des ovules (eux aussi à nombre chromosomique réduit), les œufs résultant de cette fusion posséderont donc le nombre normal spécifique de chromosomes. Or ce sont ces œufs qui donneront naissance aux femelles. Chez celles-ci, le nombre diploïdique étant rétabli, une réduction chromosomique pourra survenir sans inconvénient.

Nous ne demanderons pas aux tenants des théories mécanicistes quelle idée ils se font des moyens par lesquels les forces physico-chimiques (les seules dont ils admettent l'intervention dans les phénomènes vitaux) après avoir prévu les conséquences, du point de vue chromosomique, des différents modes de reproduction, agissent

1. En raison de l'influence du noyau dans les phénomènes vitaux cellulaires.

2. Le nombre de ses chromosomes est alors appelé nombre *diploïde*, par opposition au nombre réduit ou *haploïde*.

pour y adapter les phénomènes si compliqués de la caryocinèse. Nous ne leur suggérerons pas davantage de s'inspirer de l'ingénieuse formule du Dr Ch. Singer, dans son traité de l'*Histoire de la Biologie :* « Si cependant la nature a décidé que des œufs ne seraient pas fécondés, elle doit les garder diploïdes en omettant la méiose » (p. 560). Il faudrait en effet préciser ce qu'on entend par *Nature,* être assez vague dans la pensée de certains de ceux qui ont recours à ses bons offices pour les tirer d'un mauvais pas. Dépouillée de son anonymat, elle signifie ou un être personnel, intelligent, créateur et organisateur de la vie — ce qui est pour les mécanistes une simple hypothèse à écarter sans plus ample examen —, ou l'ensemble des agents, forces ou activités physiques, chimiques et mécaniques — ce qui n'est aussi qu'une hypothèse, mais qui est donnée comme une certitude dûment établie du fait même de l'irrécevabilité de l'hypothèse précédente. Nous n'avons pas à faire la critique de ce mode de raisonnement qui, de prémisses douteuses ou fausses, tire des conclusions fermes et sans appel ; mais pour faire apparaître combien, en l'espèce, ces conclusions seraient mal fondées, modifions dans le sens franchement matérialiste la formule ambiguë de Singer : Si cependant les forces physico-chimiques *ont décidé* que des œufs ne seraient pas fécondés, *elles doivent les garder diploïdes* en omettant la méiose. Et voilà, conférés aux forces physico-chimiques, le sens, ou, si l'on veut, l'instinct de la prévision, et aussi, tout au moins une sorte d'ébauche du libre arbitre, et de perception des relations de cause à effet.

Cet aboutissant des doctrines mécanistes n'est pas pour nous surprendre. Pour ces doctrines, en effet, la vie n'a été qu'une efflorescence accidentelle de la matière, et tous les degrés des êtres vivants reconnaissent la même origine, l'évolution de la première molécule albuminoïde où se sont manifestés les premiers phénomènes vitaux n'ayant rien ajouté qui ne fût de la matière pure aux différenciations successives qui ont produit l'homme. Chez celui-ci ne doit rien exister qui ne relève de la simple physico-chimie, qu'il s'agisse de ses fonctions purement végétatives, ou de ses plus hautes fonctions psychiques. On ne doit donc, en toute logique, admettre qu'une question de degré entre l'homme qui pense, qui aime, qui veut, et les cellules reproductrices du ver intestinal du cheval qui deviennent volontairement haploïdes parce qu'elles ont décidé que leurs ovules seraient fécondés, tandis que celles des générations parthénogénétiques du phylloxéra, s'arrangent pour rester diploïdes, ayant décidé que leurs ovules ne subiraient pas de fécondation.

CONCLUSION

Dans son traité de *Physiologie générale* auquel nous avons déjà fait un certain nombre d'emprunts, Max Verworn déclare : « Effectivement, nous avons déjà fait, à propos des résultats obtenus jusqu'ici par la recherche physiologique, la décourageante constatation que nous ne sommes jamais parvenus à expliquer parmi les phénomènes vitaux, que les grossières fonctions physiques et chimiques du corps, et que partout où nous avons tenté d'en approfondir les causes, nous nous sommes toujours butés à une énigme insoluble. Bunge soutient même : Plus nous scrutons les phénomènes vitaux, en multipliant les côtés de notre analyse, plus nous nous efforçons d'en approfondir l'étude, plus aussi nous en arrivons à nous convaincre que certaines manifestations, auxquelles on avait cru pouvoir donner une explication physique ou chimique, sont en réalité d'une nature bien plus compliquée, et narguent jusqu'ici toute espèce d'interprétation mécanique [1] » (Verworn, p. 48).

Le Dr Denis Courtade, dans son opuscule sur *L'irritabilité dans la série animale*, conclut de son côté : « Je ne pourrais mieux faire, en terminant, que de reproduire cette phrase de Marey *(Du mouvement dans les fonctions de la vie)* : « Pour ma part, je ne connais pas les phénomènes vitaux : je ne constate que deux sortes de manifestations de la vie : celles qui sont intelligibles pour nous (elles sont toutes d'ordre physique ou chimique) et celles qui ne sont pas intelligibles. Pour ces dernières, il vaut mieux avouer son ignorance que de la déguiser derrière des semblants d'explication » (p. 86).

Ces aveux singulièrement découragés pourraient être signés de tous les Biologistes qui ont tenté le louable effort de percer le mystère qui entoure de très nombreuses manifestations de la vie, mais ont abordé cette entreprise avec le propos délibéré de ramener tous les phénomènes vitaux à des équations de physique ou à des formules de chimie.

1. Bunge, *Lehrbuch der physiologischen Chemie*, 2e édition, Leipzig, 1889.

Max Verworn prétend d'ailleurs que ceux-là n'ont pas été plus heureux qui, comme nous l'avons fait dans la présente étude sur les fondements cellulaires du Vitalisme, ont entrepris l'examen des faits avec le souci de ne pas vouloir n'admettre que des explications qui sauvegardent des positions déjà prises. Il affirme, en effet, que les solutions vitalistes sont des solutions en quelque sorte négatives et provisoires : « L'affirmation d'une force vitale s'appuie uniquement sur le fait que certains phénomènes vitaux n'ont pu jusqu'ici être ramenés aux lois physico-chimiques » (p. 48).

Cette assertion de Verworn est inexacte par manque de précision.

Si nous proclamons la nécessité d'une force vitale, ce n'est ni « uniquement », ni d'abord, parce qu'il existe de nombreux phénomènes vitaux demeurés jusqu'ici *inexpliqués* par l'intervention des forces physico-chimiques, mais parce que nous les jugeons *inexplicables* par ces seules forces : ils se présentent, en effet, nous l'avons vu, avec des caractères — en particulier des caractères de prévision et d'adaptation intentionnelle — qui les opposent essentiellement à la nature même des forces physiques et chimiques.

On peut toujours, sans doute, devant des phénomènes qui résistent aux explications tirées de la physique ou de la chimie, ou qui même leur sont « contradictoires » — comme nous avons entendu P. Bouin en faire la remarque — arguer de l'ignorance où nous sommes des limites exactes de ces sciences et de la nature précise des forces qu'elles mettent en œuvre, et laisser entendre qu'un jour viendra peut-être où la découverte d'activités actuellement insoupçonnées nous donnera enfin l'intelligence de certains faits restés mystérieux, sans que nous ayons à recourir à « une force hypermécanique... inconnue et impénétrable », ou « force complètement mystique »[1].

Cette sorte de traite tirée sur l'avenir semble satisfaire certains esprits; beaucoup, en tous cas, lui font officiellement confiance. Si cette confiance n'est pas feinte elle ne laisse pas d'être étrange. Ces forces, en effet, encore ignorées, seront — si la science arrive jamais à les connaître — ou de même nature que celles qu'elle connaît déjà, et, par conséquent aussi inopérantes que les autres pour expliquer des phénomènes transcendants qui dépassent cette nature; ou des forces d'un tout autre ordre, et c'en sera donc fait des tentatives d'explications physico-chimiques dans le domaine proprement vital. Nous ne prétendons pas autre chose : les forces physico-chimiques s'étant, de l'aveu de leurs plus chauds partisans, révélées inefficaces, *de par leur nature*, à rendre raison des manifestations si

1. Max Verworn, *ouvrage cité*, p. 20.

spéciales de la vie, il faut bien en appeler à des forces d'une nature différente. Le nom qu'on leur donnera importe peu. Celui de forces vitales leur conviendra parfaitement pour les distinguer des autres, parce qu'elles s'appliquent à des phénomènes vitaux en tant que vitaux. Quant à leur nature intime, n'espérons pas qu'on puisse jamais en percer le mystère. La résignation, à cet égard sera d'ailleurs facile, l'ignorance où nous sommes et où nous resterons toujours de la nature des forces physico-chimiques elles-mêmes, nous ayant habitués à ce renoncement. Quel physicien, quel chimiste pourrait, par exemple, nous dire, de façon précise, ce qu'est, *en soi*, l'affinité. Serait-ce une simple étiquette apposée à un certain genre de phénomènes, dont l'existence ne fait aucun doute, mais dont l'essence même nous échappe? On observe que certains corps ont tendance à se combiner. On ignore pourquoi. On constate le fait. Ce fait a une cause; nous pouvons, pratiquement, ne pas tenir compte de ceux qui le nient. A cette cause il convient de donner un nom qui dissimule tant bien que mal notre ignorance de fond. On s'est entendu pour l'appeler affinité. Cet exemple peut être étendu à toutes les autres forces physico-chimiques. On serait donc bien mal venu de nous tenir rigueur de ce que personne, jamais, n'a saisi, en lui-même, le principe vital. Physiciens, chimistes, biologistes, cessons de nous jeter la pierre et convenons, très humblement, que nous ne sommes, les uns et les autres, que des manipulateurs plus ou moins habiles de phénomènes. La substance sous-jacente et les principes qui gouvernent son activité ne sont pas d'observation immédiate : on ne les voit pas, on les conclut. C'est cette voie, la seule possible, qui, quand il s'agit de la substance vivante, nous conduit à l'affirmation d'un principe vital aussi sûrement qu'elle nous impose l'affirmation de forces physico-chimiques dans le cas de la substance brute.

Ces forces physico-chimiques, le principe vital les coordonne dans le vivant. Il ne les supprime pas. Le vivant est un être qui, par certains côtés, est matière. Il a des dimensions, un volume, une couleur, un poids... Si immatériel qu'on le suppose par quelques autres côtés, il lui a toujours été, et il lui sera toujours impossible — nous l'avons déjà fait remarquer au cours de ce travail — de fabriquer la plus simple de ses albuminoïdes sans mettre à contribution le monde minéral. Et la synthèse de tous les éléments qu'il doit lui emprunter — emprunter est bien le mot, car en fin de course il les lui restituera — se fera toujours selon des lois physiques et chimiques bien définies. Et dans les corps vivants ainsi formés persisteront certaines propriétés inéhérentes à la matière : attraction, cohésion,

répulsion, tension superficielle, électronique, etc. Mais — et c'est là tout le mystère de la vie — cette sujétion à la matière se double, chez le vivant, d'une indépendance manifeste.

Entendons bien que cette indépendance ne saurait altérer en rien la nature des forces physico-chimiques auxquelles le vivant, de par la présence essentielle d'éléments de matière brute ne saurait échapper. Quand on avance que certains phénomènes particuliers au vivant sont en contradiction avec les explications physico-chimiques qu'on essaie d'en donner — et les antivitalistes ne sont pas les derniers à en faire l'aveu — on ne prétend pas dire que les forces invoquées agissent, dans ces cas spéciaux, à l'opposé de leur façon ordinaire de se comporter. Il n'est, pensons-nous, venu à l'idée de personne de soutenir, par exemple, que les forces d'attraction et de cohésion qui, dans les phénomènes observés dans la substance brute, rapprochent et rendent solidaires certains atomes dans une molécule, ou certaines molécules dans un composé plus complexe, se muent subitement, quand les mêmes phénomènes se produisent dans la substance vivante, en forces de répulsion et de disjonction des mêmes éléments atomiques ou des mêmes molécules.

Pour préciser, rappelons un des cas très simples que nous avons déjà cité (p. 85). Nous avons vu que dans la muqueuse de l'appareil digestif, entre des cellules caliciformes spécifiquement élaboratrices s'intercalent, côte à côte, et constituant la même membrane, des cellules à cils vibratiles [1]. Initialement, toutes ces cellules se ressemblaient. Toutes, au cours de leur développement, ont subi les mêmes influences physico-chimiques du même milieu où elles ont évolué. Toutes ont puisé dans le même sang les éléments dont elles se sont nourries... Quel est le biologiste qui, s'il n'avait pas été instruit par l'expérience du contraire, n'aurait déclaré que toutes ces cellules, d'après les lois physico-chimiques, ont dû se différencier pareillement et donner toutes, après complète évolution, des cellules de même type, différant tout au plus l'une de l'autre par quelque détail de minime importance, comme serait une différence de dimensions, une forme plus ou moins régulière du noyau?... Or il en est tout autrement. Parmi ces cellules, les unes seront des éléments glandulaires, les autres des éléments ciliés.

La cellule glandulaire est de constitution relativement simple : membrane tout unie, noyau sans aucun caractère particulier; entre la membrane et le noyau, cytoplasme banal ordinaire et cytoplasme spécifique filamenteux n'offrant rien de spécialement remarquable.

1. Fig. 20, p. 85; planche II, fig. 7 et 8.

Seule la formation attire l'attention, rappelant celle d'un verre à boire à ventre élargi (forme en calice).

La cellule ciliée se présente tout différemment. La partie de sa membrane qui regarde la lumière du tube digestif est hérissée de productions protoplasmiques en forme de poils ou cils plus ou moins longs : jusqu'à 30 μ [1]. Dans certains cas (et pourquoi pas dans tous?), ces poils offrent une structure fort compliquée dans laquelle on distingue : une partie libre flottant dans la cavité digestive : le cil proprement dit; à la base de ce cil, un épaississement constituant le bulbe; faisant suite au bulbe, une pièce intermédiaire très courte, de même calibre que le cil et terminée par un second épaississement ou centrosome; enfin une racine très déliée pénétrant dans le cytoplasme et s'y prolongeant très avant, jusqu'au-dessous du noyau.

Qu'il s'agisse de l'une ou de l'autre de ces cellules, leurs constituants anatomiques si dissemblables sont cependant formés, les uns et les autres, d'éléments empruntés au monde minéral. Ils n'ont pu, à partir de ces éléments, être réalisés que par l'intervention de réactions chimiques dont on n'a aucune raison de supposer qu'elles ont obéi à des lois autres que les lois chimiques ordinaires. Mais comment se fait-il que ces réactions aient été utilisées pour fabriquer un cytoplasme spécifique, là sous forme de cils de constitution si complexe, émergeant hors de la cellule, et ici de simples filaments perdus au milieu du cytoplasme banal?... Et qui les a utilisées de la sorte?... La différence d'utilisation répond certainement à une fin particulière dans l'un et dans l'autre cas. Nous l'avons signalé, et personne d'ailleurs ne le nie. Les cils, par exemple, « sont l'expression d'une adaptation à un but spécial » [2]. Mais lorsqu'on nous dit que « Les cils..... apparaissent sous l'influence de conditions mécaniques déterminées » [3], pour qui prend-on le lecteur?... L'auteur a voulu dire, peut-être, que les cils sont destinés à remplir une fonction mécanique, ce qui est exact [4]; mais cette fonction n'a pu exister qu'après l'apparition des cils. Comment donc une fonction qui n'existe pas encore pourrait-elle exercer une influence sur la formation de l'organe qui lui permettra d'exister?

Si les antivitalistes n'ont pas de meilleure explication à donner des faits biologiques en cause, et dont nul d'entre eux, d'ailleurs, ne

1. Fig. 19, p. 84.
2. A. Branca, *Précis d'Histologie*, 3e édit. Paris, Baillière, 1914, p. 73.
3. *Ibid.*
4. De même que le « mucigène » élaboré par les cellules caliciformes d'à côté est destiné à des fonctions chimiques.

songe à contester l'allure fort mystérieuse, ils ne nous paraissent guère autoriser à critiquer le vague des formules vitalistes, et même ce « nisus formativus », ou « impulsion formative », dont Verworn a pu se moquer (p. 20), mais que ni lui, ni d'autres de la même École n'ont, en fait, remplacé par rien, si ce n'est par des conditions mécaniques, physiques, ou chimiques, exerçant intentionnellement, alors qu'elles n'existent pas encore, une influence de direction spécifique sur des réactions de soi indifférentes.

Si ces réactions se produisent, c'est cependant qu'une influence (une cause) existe, qui les gouverne. Cette influence se manifeste par des phénomènes qui trahissent un ordre, une harmonie, la poursuite systématique d'un but comportant un élément de prévision qu'on ne saurait attribuer à des forces physico-chimiques sans introduire quelques contradictions de plus dans un domaine d'où on cherche à les éliminer toutes.

Mais un problème se pose auquel le lecteur aura sans doute pensé souvent au cours de cette étude, et qu'il ne nous est pas permis d'éluder, encore qu'il soit peut-être insoluble. Nous le formulerons ainsi : puisque certains phénomènes vitaux — et ils sont nombreux — postulent une cause intelligente, le principe vital dont nous justifions, pour cette raison même, l'existence, est-il un principe intelligent, un principe qui dans toute cellule, tant végétale qu'animale, prévoit la fin que devra atteindre cette cellule, dirige en conséquence son évolution et utilise ses forces physico-chimiques pour la réalisation du plan prévu, les pliant, sans altérer leur nature, aux nécessités de ce plan?

Remarquons d'abord que cette intelligence du but et des moyens, si elle est dans la cellule, la cellule n'a pu se la donner, puisqu'elle n'a pu exister que par elle. Il faut donc la situer hors d'elle, et cette constatation nous remet tout naturellement en mémoire les deux vers de Voltaire, qui n'ont rien perdu de leur vérité profonde pour avoir été si souvent cités :

L'Univers m'embarrasse et je ne puis songer
Que cette horloge existe et n'ait point d'horloger.

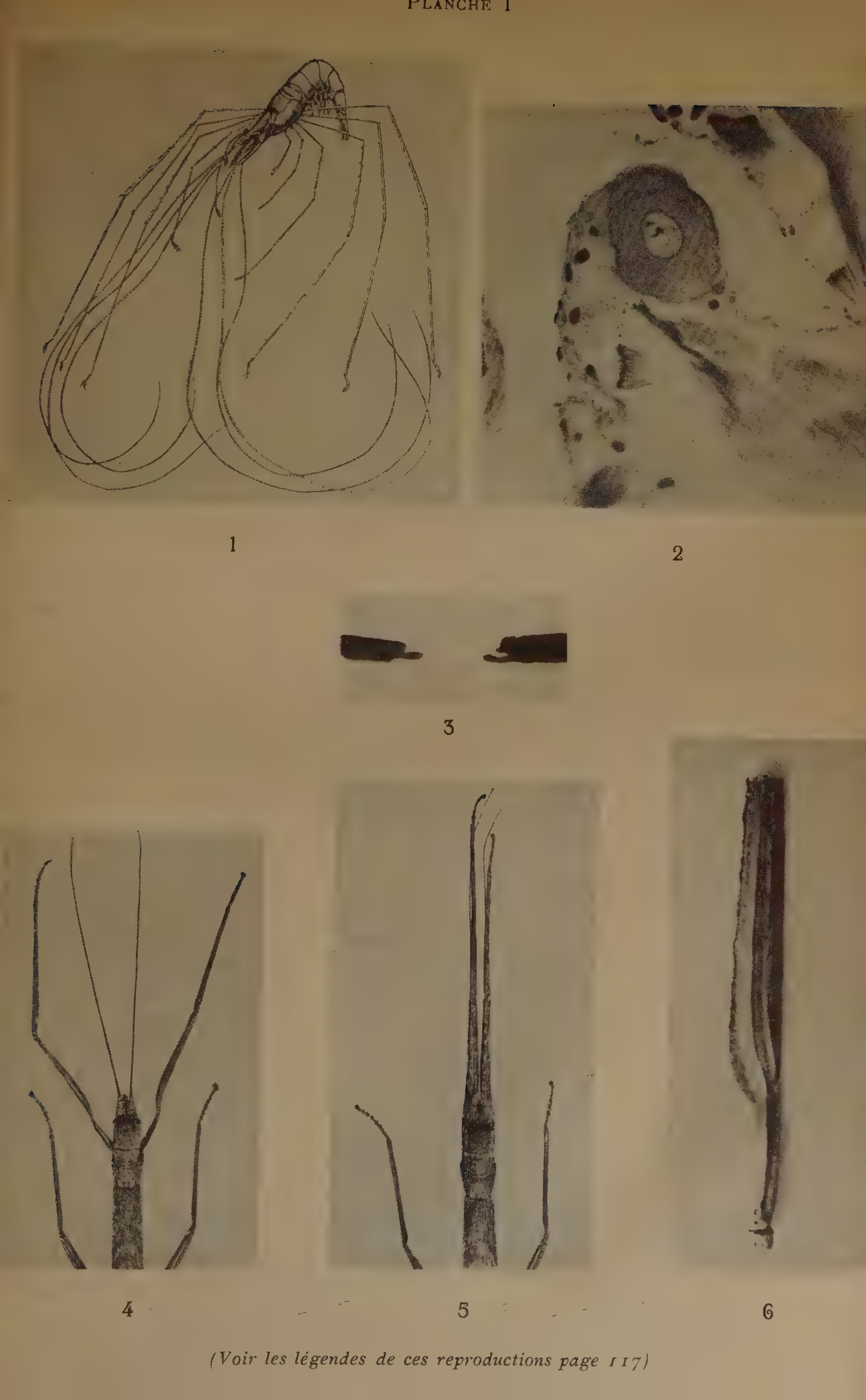
Après avoir constaté la nécessité de l'horloger, il ne restera plus à la science qu'à lui donner un nom.

Toulouse.

L. BOULE,

Professeur de Biologie générale
à l'Institut catholique de Toulouse

TABLE DES MATIÈRES



(Voir les légendes de ces reproductions page 117)

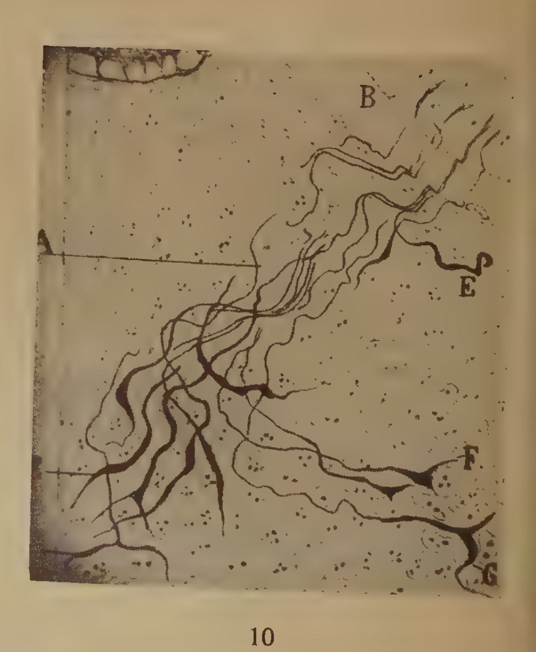


7



8

9



10

(Voir les légendes de ces reproductions page 117)

auchesne et ses fils, Édit.

PLANCHE I

Fig. 1. — *Nematocarcinus gracilipes*. Photographié dans *Rémy Périer :* Cours élementaire de Zoologie, p. 46.

Fig. 2. — Microphotographie d'une préparation de la glande hermaphrodite d'une *Limace*,

Fig. 3. — Coupe transversale des deux élytres de *Dytiscus marginalis*, photographiée à un très fort grossissement.

Fig. 4. — Photographie du Phasme *Carausius morosus* montrant l'encoche des fémurs antérieurs.

Fig. 5. — Le même phasme photographié les fémurs antérieurs rabattus et enserrant la tête entre les deux encoches.

Fig. 6. — Une des encoches photographiée à un fort grossissement et montrant la gouttière ménagée le long du fémur et destinée à loger l'antenne du côté correspondant lorsque l'animal prend l'attitude de la figure précédente.

PLANCHE II

Fig. 7. — Microphotographie d'une coupe transversale d'œsophage de *Triton*, montrant les cellules caliciformes et les cellules à cils vibratiles.

Fig. 8. — Photographie agrandie d'une région de la même coupe d'œsophage de *Triton*.

Fig. 9. — Reproduction de la figure 7, page 187 du tome V de la Revue : *Travaux du Laboratoire de Recherches biologiques de l'Université de Madrid*. Article de Cajal sur l'évolution des neuroblastes.

Embryon du poulet de la 58e heure. Moelle lombaire. A, fibres postérieures motrices; B, racines antérieures; C, fibres sensitives terminées en massue; *a*, cellule bipolaire : *e*, *d*, cellules bipolaires en palissade; *b*, *i*, cellules pourvues de massues géantes; *f*, fibres commissurales; *g*, ébauche du cordon antérieur; *c*, axone moteur traçant un détour dans l'espace vaginal (texte de Cajal).

Fig. 10. — Même Revue et même article de Cajal, p. 199. Texte de l'auteur : Fibres motrices de la moelle épinière traversant le mésoderme. Embryon du poulet de la 58e heure. A, racine antérieure; B, moelle épinière; E, massue égarée et repliée.

CE CAHIER I DU VOLUME XV DES « ARCHIVES DE PHILOSOPHIE » A ÉTÉ ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 15 AVRIL MCMXXXIX PAR FIRMIN-DIDOT AU MESNIL, POUR GABRIEL BEAUCHESNE ET SES FILS, ÉDITEURS A PARIS.